

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

SABRINA ROBECK

**ESTUDO DA PERMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE DE GEOTÊXTEIS NÃO  
TECIDOS DE POLIÉSTER IMPREGNADOS COM MATERIAIS ASFÁLTICOS  
SUBMETIDOS À ELEVADA CARGA HIDRÁULICA**

CURITIBA - PR

2015

SABRINA ROBECK

**ESTUDO DA PERMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE DE GEOTÊXTEIS NÃO  
TECIDOS DE POLIÉSTER IMPREGNADOS COM MATERIAIS ASFÁLTICOS  
SUBMETIDOS À ELEVADA CARGA HIDRÁULICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - PPGECC, Área de Concentração em Geotecnia, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Helder Cardoso  
Teixeira

CURITIBA – PR

2015

---

R638e

Robeck, Sabrina

Estudo da permissividade e permeabilidade de geotêxteis não tecidos de poliéster impregnados com materiais asfálticos submetidos a elevada carga hidráulica/ Sabrina Robeck. – Curitiba, 2015.  
130 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, 2015.

Orientador: Sidnei Helder Cardoso Teixeira .  
Bibliografia: p. 127-130.

1. Geotexteis. 2. Asfalto. 3. Permeabilidade. I. Universidade Federal do  
Paraná. II. Teixeira, Sidnei Helder Cardoso. III. Título.

CDD: 625.85

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

SABRINA ROBECK

### ESTUDO DA PERMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS DE POLIÉSTER IMPREGNADOS COM MATERIAIS ASFÁLTICOS SUBMETIDOS À ELEVADA CARGA HIDRÁULICA

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Geotecnia, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:


Orientador:



Prof. Dr. Sidnei Helder Cardoso Teixeira

Programa de Pós-graduação em Engenharia de  
Construção Civil da UFPR

Examinador:



Prof. Dr. Alessandro Christopher Morales Kormann

Programa de Pós-graduação em Engenharia de  
Construção Civil da UFPR

Examinador:



Dr. Carlos Vinicius dos Santos Benjamim

Engenharia Consultoria – São Paulo/SP

Curitiba, 16 de junho de 2015.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Marcus e Rogéria.  
Ao meu esposo Alvaro.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, base de tudo em minha vida.

Ao meu esposo Alvaro Luchetta Júnior, por auxiliar na montagem do permeâmetro, nos ensaios de laboratório e me apoiar durante toda a jornada.

Ao meu pai Marcus Gernot Robeck, por auxiliar na elaboração do dispositivo de medição das espessuras.

A minha mãe Rogéria Catarina Ramos, pelo incentivo constante.

Ao Professor Sidnei H. C. Teixeira, pela orientação e por confiar que eu poderia concluir a pesquisa.

Ao Professor Leonardo F. R. Miranda, por ceder parte dos materiais asfálticos.

A todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil – PPGECC da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

Aos alunos de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná – UFPR Eduardo Conte e Clara Schlichta, pelo auxílio nos ensaios.

A Neide Barreto Remez da empresa Compasa, por ceder material asfáltico.

Ao engenheiro Sérgio Kunio Kawanami da empresa Diprotec, por ceder parte dos geotêxteis.

A empresa Intertechne, pelo incentivo ao aperfeiçoamento profissional.

## RESUMO

Da família dos geossintéticos o geotêxtil desempenha as principais funções aplicáveis em projetos de engenharia civil e geotecnia, enquanto os demais produtos sintéticos somente atendem a funções específicas. Particularmente, os geotêxteis não tecidos agulhados apresentam potencial para a sua impregnação com asfalto resultando em um material flexível, de pouca espessura, baixa permeabilidade e superfície aderente. A pesquisa é baseada na experiência do uso de geotêxteis impregnados com asfalto na restauração de pavimentos rodoviários e obras de impermeabilização, com vistas ao uso deste material em aterros de barragens e ensecadeiras, atuando como uma manta impermeável em substituição aos tradicionais materiais naturais de construção empregados. Foram ensaiadas as permissividades e permeabilidades normais em setenta corpos de prova de geotêxteis não tecidos agulhados de poliéster, diante de diferenciadas técnicas e procedimentos de impregnação com materiais asfálticos, tais como: emulsão asfáltica; tinta asfáltica; asfalto modificado; e cimento asfáltico. Os parâmetros foram medidos através de ensaios de carga variável em um permeâmetro idealizado para uma carga hidráulica elevada. Os resultados obtidos mostram valores de permeabilidade compatíveis aos solos siltosos e argilosos, sendo fatores preponderantes a taxa de impregnação e espessuras finais. Porém, os procedimentos de ensaio apontam para uma variação na permissividade e na permeabilidade caso o material seja submetido a alguma deformação.

Palavras-chave: Geotêxtil não tecido. Asfalto. Permissividade. Permeabilidade. Manta impermeável.

## ABSTRACT

About the geosynthetic materials, the geotextile performs the main functions applicable in geotechnical projects of civil engineering. Other synthetic materials only are used for specific functions. Particularly non-woven geotextiles have the potential for impregnation with asphalt becoming a flexible material, with low thickness, low permeability and adhesive surface. This research is based on the experience using geotextiles impregnated with asphalt for rehabilitation of road pavements and waterproofing work. Geotextile impregnated with asphalt may be used as a waterproof blanket construction of dams and cofferdams to replace traditional natural materials of construction. Were performed 70 non-woven geotextiles specimens with different impregnation techniques. The hydraulic conductivity in terms of permittivity were tested with the falling head method. The bituminous materials such as asphalt emulsion, asphalt modified with polymer, asphalt cement petroleum and asphaltic paint were assayed. The parameters were determined through an idealized permeameter for high hydraulic loads. The results show permeability values compatible to silty and clay soils being important factors the rate of impregnation and final thickness. However, test procedures indicate a change in permittivity and permeability if the material undergoes some deformation.

**Keywords:** Geotextiles nonwoven. Asphalt. Permittivity. Permeability. Waterproof blanket.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos geossintéticos de acordo com sua estrutura e processo de fabricação LOPES & LOPES, 2010).	25
Figura 2 – Exemplo de fibras poliméricas utilizadas na fabricação dos geotêxteis (KOERNER, 2005).	25
Figura 3 – Efeito da temperatura na deformabilidade dos polímeros VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004.	28
Figura 4 - Processos de fabricação de geotêxteis tecidos e não tecidos (ABINT, 2001).	31
Figura 5 – Geotêxtil tecido (TEIXEIRA, 2013).	32
Figura 6 - Fabricação de geotêxteis tecidos (ABINT, 2001).	32
Figura 7 – Componentes utilizados na fabricação de geotêxteis tecidos. (a) monofilamento tecido calandrado; (b) multifilamentos; (c) laminetes (KOERNER, 2005).	32
Figura 8 – Aspecto do geotêxtil não tecido agulhado (TEIXEIRA, 2013).	33
Figura 9 – Aspecto do geotêxtil não tecido termosoldado (TEIXEIRA, 2013).	33
Figura 10 – Aspecto do geotêxtil não tecido resinado (TEIXEIRA, 2013).	33
Figura 11 – Aspecto do geotêxtil não tecido por fusão química (TEIXEIRA, 2013).	34
Figura 12 - Fabricação de geotêxteis não tecidos de filamentos contínuos agulhados por via fundida (ABINT, 2001).	34
Figura 13 - Compressibilidade dos diferentes tipos de geotêxteis (KOERNER, 2005).	38
Figura 14 – Esquema do ensaio de permeabilidade normal em geotêxteis. O ensaio com carga constante a) onde: 1 – geotêxtil; 2 – coletor de água; 3 - $\Delta H$ . O ensaio de carga variável b) onde: 1 – geotêxtil; 2 – tela para suporte do corpo de prova; 3 – registro; 4 – altura inicial da coluna d'água; 5 – registro; 6 – transdutor de pressão; 7 – unidade de leitura digital; 8 – equilíbrio hidráulico ao final do ensaio (VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004).	39
Figura 15 - Anisotropia e dependência da tensão normal aplicada (TEIXEIRA, 2013).	42
Figura 16 – Seção esquemática de um pavimento recapeado com o uso de geotêxtil (MACCAFERRI, 2010).	44
Figura 17 – Resultados dos ensaios de permeabilidade em geotêxteis não tecidos impregnados com asfalto AC-20 (MERIENFELD e BAKER, 1999 <i>apud.</i> CORREIA, 2010).	46
Figura 18 – Geomembrana betuminosa fabrica industrialmente (COLETANCHE, 2015).	48
Figura 19 – Comportamento do asfalto em diferentes temperaturas (ASPHALT INSTITUTE, 2000).	51

Figura 20 – Especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo – CAP (ANP, 2005 <i>apud.</i> GRECA, 2015). .....	52
Figura 21 – Especificação brasileira de asfalto modificado por polímero (ANP, 2005 <i>apud.</i> GRECA, 2015). .....	53
Figura 22 - Geotêxteis não tecido de poliéster utilizados na pesquisa. ....	59
Figura 23 - Determinação do peso dos corpos de prova. ....	60
Figura 24 – Dispositivo para determinação da espessura nominal dos corpos de prova.....	60
Figura 25 - Emulsão asfáltica RR-1C utilizada na pesquisa. ....	61
Figura 26 - Aspecto e medida da densidade da tinta asfáltica.....	63
Figura 27 - Processo de impregnação com emulsão asfáltica pelo método de imersão. ....	64
Figura 28 - Processo de impregnação com emulsão asfáltica pelo método de espalhamento. ....	64
Figura 29 – Processo de impregnação com CAP pelo método de imersão. ....	65
Figura 30 – Processo de impregnação com asfalto modificado pelo método de imersão. ....	65
Figura 31 - Corpos de prova secando na posição horizontal.....	66
Figura 32 – Determinação do peso do corpo de prova impregnado com emulsão asfáltica.....	67
Figura 33 - Determinação da espessura do corpo de prova impregnado com asfalto modificado. ....	67
Figura 34 – Dispositivo utilizado na pesquisa para o ensaio de permissividade e determinação da permeabilidade dos geotêxteis impregnados com asfalto. ....	69
Figura 35 - Sequência de preparo do permeâmetro e instalação do corpo de prova de geotêxtil impregnado com asfalto modificado para início do ensaio. ....	70
Figura 36 - Corpos de prova impregna com CAP por imersão. ....	108
Figura 37 – Diferença entre os corpos de prova, após o ensaio com elevada carga hidráulica: (a) sem a tela de suporte; (b) com a tela de suporte. ....	111
Figura 38 – Tela de suporte após o ensaio: (a) asfalto modificado com polímero; (b) cimento asfáltico de petróleo.....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Funções dos geossintéticos (adaptado de IGS, 2015 e Lopes & Lopes, 2010).....	22
Tabela 2 - Tipos dos geossintéticos (adaptado de VIDAL, 2013 e ABINT, 2001). ....	23
Tabela 3 – Funções de acordo com o tipo dos vários geossintéticos nos projetos de engenharia (adaptado de VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004). ....	24
Tabela 4 – Principais polímeros utilizados na fabricação de geossintéticos (adaptado de VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004).....	26
Tabela 5 – Características mecânicas mais importantes dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (adaptado de VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004).....	27
Tabela 6 – Características físicas mais importantes dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (adaptado de VERTEMATTI <i>et. al.</i> , 2004).....	28
Tabela 7 - Aplicações dos geossintéticos em obras de engenharia (adaptado de ABINT, 2015). ....	30
Tabela 8 – Taxas de aplicação de ligante asfáltico em função do tipo de geotêxtil (adaptado de MACCAFERRI, 2010). ....	45
Tabela 9 – Propriedades relevantes dos geotêxteis não tecidos utilizados na pesquisa fornecidas pelo fabricante. ....	59
Tabela 10 – Relação dos corpos de prova do Grupo A. ....	73
Tabela 11 – Relação dos corpos de prova do Grupo B. ....	74
Tabela 12 - Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.....	75
Tabela 13 - Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.....	77
Tabela 14 - Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	77
Tabela 15 - Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	77
Tabela 16 - Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	79
Tabela 17 - Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	80
Tabela 18 - Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	81
Tabela 19 - Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	81
Tabela 20 - Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	83

Tabela 21 - Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	84
Tabela 22 - Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A. ....	85
Tabela 23 - Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B. ....	86
Tabela 24 - Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A. ....	87
Tabela 25 - Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B. ....	87
Tabela 26 - Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A. ....	89
Tabela 27 - Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B. ....	89
Tabela 28 - Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo A. ....	91
Tabela 29 - Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo B. ....	91
Tabela 30 – Valores de referência para permissividades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica. ....	118
Tabela 31 – Valores de referência para permissividades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica. ....	119
Tabela 32 – Valores de referência para permeabilidades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica. ....	120
Tabela 33 – Valores de referência para permeabilidades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica. ....	122

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.....	76
Gráfico 2 – Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.....	76
Gráfico 3 – Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	78
Gráfico 4 – Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	78
Gráfico 5 – Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	79
Gráfico 6 – Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	80
Gráfico 7 – Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	82
Gráfico 8 – Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	82
Gráfico 9 – Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A. ....	83
Gráfico 10 – Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B. ....	84
Gráfico 11 – Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.....	85
Gráfico 12 – Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.....	86
Gráfico 13 – Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.....	88
Gráfico 14 – Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.....	88
Gráfico 15 – Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.....	90
Gráfico 16 – Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.....	90
Gráfico 17 – Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo A.....	92
Gráfico 18 – Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo B.....	92
Gráfico 19 – Permissividades e permeabilidades dos corpos de prova padrão versus geotêxtil antes do procedimento de impregnação. ....	94

Gráfico 20 – Influência do tempo de secagem dos corpos de prova nos resultados das permissividades do Grupo A e Grupo B.....	95
Gráfico 21 – Influência do tempo de secagem dos corpos de prova nos resultados das permeabilidades do Grupo A e Grupo B. ....	96
Gráfico 22 – Influência do intervalo de tempo entre aplicações de asfalto nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A. ....	98
Gráfico 23 – Influência do intervalo de tempo entre aplicações de asfalto nos resultados das taxas de impregnação e espessura final do Grupo A. ....	98
Gráfico 24 – Influência do número de aplicações de emulsão um uma das faces do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A.....	100
Gráfico 25 – Influência do número de aplicações de emulsão um uma ou nas duas faces do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A. ....	101
Gráfico 26 – Influência do número de aplicações de emulsão um uma ou nas duas faces do geotêxtil nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo A. ....	102
Gráfico 27 – Influência do tempo de imersão nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B.....	103
Gráfico 28 – Influência do tempo de imersão nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo B. ....	104
Gráfico 29 – Influência do volume de asfalto na imersão nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B. ....	105
Gráfico 30 – Influência do tipo de material asfáltico nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A. ....	107
Gráfico 31 – Influência do tipo de material asfáltico nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B. ....	107
Gráfico 32 – Influência da gramatura do geotêxtil nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo A e Grupo B. ....	109
Gráfico 33 – Influência da gramatura do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A e Grupo B.....	110
Gráfico 34 – Influência da utilização de tela de suporte durante os ensaios nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A e Grupo B, com emulsão asfáltica. ....	112
Gráfico 35 – Influência da utilização de tela de suporte durante os ensaios nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B, com emulsão asfáltica e CAP. ....	113
Gráfico 36 – Resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B, com emulsão asfáltica, CAP e asfalto modificado, utilizando a tela de suporte durante os ensaios. ....	113
Gráfico 37 – Resultados das permissividades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação. ....	116

Gráfico 38 – Resultados das permissividades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.	116
Gráfico 39 – Resultados das permissividades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação. ....	117
Gráfico 40 – Resultados das permissividades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação. ....	118
Gráfico 41 – Resultados das permeabilidades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.	120
Gráfico 42 – Resultados das permeabilidades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação. ....	121
Gráfico 43 – Resultados das permeabilidades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.	121
Gráfico 44 – Resultados das permeabilidades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m <sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação. ....	122

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	18
1.1	OBJETIVOS .....	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.1	CONCEITOS GERAIS SOBRE OS GEOSSINTÉTICOS .....	20
2.1.1	Principais funções e tipos.....	21
2.1.2	Classificação .....	24
2.1.3	Matérias-primas e propriedades .....	25
2.1.4	Aplicações em obras de engenharia .....	29
2.2	GEOTÊXTEIS - GTX .....	30
2.2.1	Tecidos .....	31
2.2.2	Não tecidos .....	33
2.2.3	Propriedades e ensaios padrão.....	35
2.2.4	Aplicações em obras rodoviárias.....	43
2.2.5	Aplicações em obras de impermeabilização.....	47
2.3	BARREIRAS GEOSSINTÉTICAS.....	47
2.4	MATERIAIS ASFÁLTICOS .....	48
2.4.1	Propriedades físicas dos asfaltos .....	50
2.4.2	CAP .....	51
2.4.3	Asfalto modificado por polímero .....	52
2.4.4	Emulsão Asfáltica.....	54
2.4.5	Asfalto diluído .....	57
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1	GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS .....	58
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS .....	59
3.3	EMULSÃO ASFÁLTICA.....	61
3.4	CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO - CAP.....	62
3.5	ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO .....	62
3.6	TINTA ASFÁLTICA.....	63
3.7	PROCEDIMENTOS DE IMPREGNAÇÃO COM ASFALTO .....	63
3.8	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA IMPREGNADOS .....	66
3.9	DISPOSITIVO DE ENSAIO DE PERMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE .....	68
3.10	ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL .....	70
3.11	MATRIZ DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIOS REALIZADOS .....	72
4.	RESULTADOS .....	75
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO .....	75



4.2	CARACTERIZAÇÃO DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO .....	81
4.3	PERMISSIVIDADE DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO .....	87
4.4	PERMEABILIDADE DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO .....	89
4.5	FLUXO DE ÁGUA DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO .....	91
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	93
5.1	CORPO DE PROVA PADRÃO – GRUPO A E GRUPO B .....	93
5.2	TEMPO DE SECAGEM – GRUPO A E GRUPO B .....	94
5.3	INTERVALO ENTRE APLICAÇÕES – GRUPO A .....	97
5.4	NÚMERO DE APLICAÇÕES – GRUPO A.....	99
5.5	TEMPO E NÚMERO DE IMERSÕES – GRUPO B.....	102
5.6	VOLUME DE ASFALTO NA IMERSÃO – GRUPO B.....	105
5.7	TIPO DE MATERIAL ASFÁLTICO – GRUPO A E GRUPO B.....	106
5.8	GRAMATURA DO GEOTÊXTIL – GRUPO A E GRUPO B.....	109
5.9	ENSAIO COM TELA DE SUPORTE – GRUPO A E GRUPO B.....	111
5.10	PERMISSIVIDADES.....	115
5.11	PERMEABILIDADES.....	119
6.	CONCLUSÕES .....	123
7.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	126
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	127

## 1. INTRODUÇÃO

O advento dos geossintéticos introduziu materiais nas obras de engenharia com vantagens, entre outras, quanto a pouca espessura, flexibilidade, facilidade na aplicação, resistência e baixo custo. Estes materiais possuem aplicações diversificadas, desempenho comprovado e vários segmentos da engenharia incorporam estes materiais.

A engenharia rodoviária emprega os geossintéticos na recuperação de pavimentos degradados com resultados positivos sob a ótica de impermeabilização, quando impregnados com asfalto, e reforço da capa asfáltica, como sistema anti-reflexão de trincas.

Obras de reservatórios e tanques de armazenamento de líquidos também apresentam bom desempenho com o uso de geomembranas e geotêxteis impregnados com asfalto.

Em obras de barragens, ensecadeiras ou diques os tradicionais materiais, como concreto, solos argilosos compactados e núcleo de asfalto para impermeabilização, tem sido cada vez mais substituídos pelo uso de materiais geossintéticos.

Nesta linha, tomando como base o emprego de geossintéticos em obras rodoviárias e obras de impermeabilização, percebe-se a potencialidade do emprego de geotêxteis não tecidos impregnados com material asfáltico atuando como uma barreira impermeável. Por exemplo, em ensecadeiras construídas com materiais naturais de permeabilidade elevada, esta manta poderia ser instalada durante a execução do aterro, na região do núcleo ou próximo da face do talude de montante, através de um envelopamento ou na fundação para vedação.

Em todos os casos, que se tem registro no Brasil até o momento, a técnica não foi empregada em obras de aterros hidráulicos, como são os casos de ensecadeiras e barragens de terra. Nos demais casos o processo de impregnação da manta ocorreu sempre em campo durante a execução da obra. Por este motivo não há um controle rígido no que diz respeito as taxas de ligante e espessura, bem como um conhecimento totalmente consolidado sobre a impermeabilidade.

Na França existe uma tecnologia industrializada que além do asfalto mais o geotêxtil leva outros materiais como a areia em sua composição. Este material possui padrões de espessura, taxas de impregnação e valores atestados de

permeabilidade. Suas características e seu uso recomendado remetem a uma geomembrana em termos de flexibilidade e espessuras. Contudo, seu custo é considerado elevado para as obras de engenharia no Brasil.

Quando o objetivo é produzir um material de alta praticidade, baixo custo e com bom desempenho, dentro das condicionantes impostas pelas obras de engenharia geotécnica, o estudo em laboratório se justifica para estimativa de parâmetros de projeto.

Por este motivo, o presente trabalho direciona esforços na obtenção de informações quanto aos possíveis métodos de impregnação da manta em campo, e resultados com enfoque na impermeabilização de obras de ensecadeiras e barragens, submetidas a uma elevada carga hidráulica.

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo principal desta pesquisa é estudar as permissividades e permeabilidades dos geotêxteis não tecidos de poliéster impregnados com material asfáltico, submetidos à uma carga hidráulica superior àquela imposta nos ensaios tradicionais e à diferentes técnicas de impregnação.

Deste modo, deve-se avaliar a influência dos seguintes aspectos, nos resultados das permissividades e permeabilidades do geotêxtil impregnado com asfalto:

- Técnicas de aplicação de asfalto no geotêxtil não tecido;
- Taxas de impregnação obtidas para as diferentes técnicas de aplicação;
- Espessuras finais alcançadas para as diferentes técnicas de aplicação;
- A influência do tipo de material asfáltico utilizado;
- A influência da gramatura do geotêxtil não tecido;
- A influência de uma possível deformação na manta.

Ao final da pesquisa, com base nos resultados obtidos, são definidos parâmetros de referência de permissividade e permeabilidade para faixas de valores de taxas de impregnação e espessuras finais. Estes dados poderão ser empregados em dimensionamentos de projetos de obras submetidas à elevada carga hidráulica utilizando a manta impregnada como barreira impermeável.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE OS GEOSSINTÉTICOS

Geossintético é o “termo genérico designando um produto no qual ao menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, se apresentando na forma de manta, tira, ou estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo ou outros materiais em aplicações da engenharia geotécnica e civil” (ABNT NBR ISO 10318/2013).

A ASTM D 4439:2014 define os geossintéticos como um produto plano produzido a partir de materiais poliméricos utilizado juntamente com solo, rocha ou outro material geotécnico como parte integrante de um projeto, estrutura ou sistema.

Os produtos poliméricos, através de suas propriedades, características, funcionalidades e aplicações, podem substituir, complementar ou melhorar o material natural. Vetematti *et. al.* (2004) ressalta que “até pouco tempo, acreditava-se que a natureza era o único fornecedor de materiais geotécnicos. Atualmente, vive-se a era dos polímeros”.

Existem registros sobre a utilização de materiais para melhorar a qualidade dos solos como prática comum desde milênios a.C. Porém, foi após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento da indústria petroquímica e a disseminação dos plásticos, que teve início a “Era dos Geossintéticos” (ABINT, 2001).

Neste âmbito, um grande passo para o desenvolvimento dos geossintéticos foi a fabricação de geotêxteis não tecidos de filamentos contínuos utilizados em obras costeiras, nos anos 60, na França, Inglaterra e Estados Unidos (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).

No Brasil o uso de geossintéticos data do início da década de 70 principalmente em sistemas de drenagem. Desde então, seu uso cresceu de maneira significativa e estima-se que até 2005 cerca de 60 milhões de metros quadrados de vários produtos tenham sido empregados em obras nacionais. Este valor é modesto quando comparado, à mesma época, ao consumo mundial anual superior a 1 bilhão de metros quadrados (BUENO, 2007).

Anos depois, uma série de produtos similares e/ou correlatos foram desenvolvidos e ainda continuam em desenvolvimento na busca por atender as necessidades da engenharia moderna. Busca-se cada vez mais melhorar a

qualidade dos produtos, aumentar sua vida útil, um melhor desempenho em termos de trabalhabilidade, menores custos e agilidade na aplicação (ABINT, 2001).

As atuais pesquisas indicam que a demanda mundial de geossintéticos deverá subir entorno de 9% ao ano somando 5,3 bilhões de metros quadrados no ano de 2017 (FREEDONIA, 2013).

Segundo Koerner (2005), a razão para a explosão do uso dos geossintéticos como um novo material são inúmeras incluindo:

- Fabricação com controle de qualidade industrial;
- Rapidez na instalação com redução no tempo de execução da obra;
- Geralmente substituem materiais naturais de construção ou melhoram seu uso;
- Permitem soluções mais práticas do que aquelas utilizando solos;
- Em alguns casos seu uso requerido por norma;
- Apresenta custo competitivo comparado com solos ou outros materiais de construção;
- São amplamente comercializados e estão disponíveis no mercado;
- Os dados técnico, tanto da concepção quanto dos ensaios, estão bem estabelecidos.

Muito do crescimento do mercado de geossintéticos no Brasil ocorre devido à crescente divulgação destes produtos à engenharia e o aumento do conhecimento de suas propriedades em situações de uso.

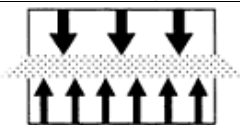
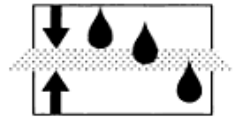

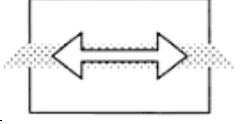


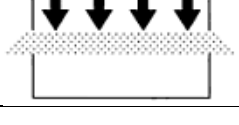
### **2.1.1 Principais funções e tipos**

Os geossintéticos desempenham cinco funções principais: separação; reforço; filtração; drenagem; barreira de fluxo. Seu uso visa basicamente dois objetivos principais: um melhor desempenho da obra, sem que ocorra deterioração do material tradicionalmente utilizado ou vazamentos excessivos; economia na solução em relação aos materiais tradicionais, com um menor custo inicial ou através de uma maior durabilidade e vida útil, reduzindo custos de substituição e manutenção (KOERNER, 2005).

A ABNT NBR ISO 10318/2013 elenca sete funções principais que os geossintéticos podem desempenhar: drenagem; filtração; proteção; reforço; separação; controle de erosão superficial; barreira de fluídos.

A Tabela 1 indica, descreve e ilustra as principais funções que os geossintéticos podem desempenhar em obras geotécnicas, de acordo com o *International Geosynthetics Society – IGS* (2015) e LOPES & LOPES (2010) .

**Tabela 1 - Funções dos geossintéticos (adaptado de IGS, 2015 e Lopes & Lopes, 2010).**

FUNÇÃO	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
SEPARAÇÃO	O geossintético atua na separação de duas camadas de solo que têm distribuições de partículas diferentes.	
FILTRAÇÃO	O geossintético desempenha papel similar a um filtro de areia, permitindo a livre passagem de água através do solo enquanto retém as partículas sólidas.	
DRENAGEM	O geossintético age como um dreno que carrega o fluido através de solos com menor permeabilidade.	
REFORÇO	O geossintético atua como elemento de reforço inserido no solo ou em associação com o solo para a melhoria das propriedades de resistência e de deformação do solo natural.	
BARREIRA DE FLUXO	O geossintético atua como uma barreira relativamente impermeável a fluídos e gases.	
CONTROLE DE EROSÃO	O geossintético trabalha para reduzir os efeitos da erosão do solo causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial da água.	
PROTEÇÃO	O geossintético funciona evitando ou limitando danos locais de um determinado elemento ou material.	

Koerner (2005) lista oito tipos de geossintéticos: geotêxteis; geogrelhas; georredes; geomembranas; barreiras argilosas; geotubos; geoforma; geocompostos.

Por outro lado, Vidal (2013) e ABINT (2001), enumeram onze tipos existentes disponíveis no mercado, tal como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos dos geossintéticos (adaptado de VIDAL, 2013 e ABINT, 2001).

TIPOS	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
GEOTÊXTEIS GTX	Material têxtil plano e permeável. Podem ser tecidos, não tecidos ou tricotados. Os não tecidos podem ser agulhados, termoligados ou resinados.	
GEOGRELHAS GGR	Estrutura planar constituída por uma malha aberta e regular de elementos resistentes à tração com aberturas maiores que os elementos constituintes. Podem ser tecidas, extrudadas ou soldadas.	
GEORREDES GNT	Conjuntos de elementos paralelos superpostos e completamente conectados a outro elementos similares à vários ângulos.	
GEOESPAÇADORES GSP	Estrutura tridimensional concebida para criar um espaço de ar no solo ou outros materiais.	
TUBOS DRENO	Estrutura tubular corrugada.	
GEOCÉLULAS GCE	Estrutura tridimensional, permeável, em forma de casa de abelha ou similar, produzida a partir de tiras de geossintéticos ligado entre si.	
GEOMANTAS/ BIOMANTAS GMA	Estrutura tridimensional permeável, constituída de monofilamentos ou outros elementos interligados por meio mecânico, térmico, químico ou outros. Podem ser poliméricas ou de fibras naturais degradáveis.	
BARREIRAS GEOSSINTÉTICAS GBR	Material de baixa permeabilidade com finalidade de prevenir ou limitar a percolação de fluídos através da estrutura. Podem ser poliméricas (GBR-P), argilosas (GBR-C) ou betuminosas (GBR-B).	
GEOFORMA GFM	São estruturas realizadas a partir de geossintéticos, com a finalidade de conter materiais de modo permanente ou provisório	
GEOCOMPOSTOS GCO	Material formado pela superposição ou associação de materiais sendo que ao menos um deles é um produto geossintético.	
GEOTIRAS GTR	Material em forma de tira com largura inferior a 200mm.	

A Tabela 3 apresenta as diferentes funcionalidades de acordo com os tipos de geossintéticos. Analisando os dados desta tabela é possível constatar que o geotêxtil é o produto geossintético é aquele que atende a todas principais funções quando comparado com os demais, que atendem somente a funções específicas (VERTEMATTI, 2004).

**Tabela 3 - Funções de acordo com o tipo dos vários geossintéticos nos projetos de engenharia (adaptado de VERTEMATTI *et. al.*, 2004).**

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>(*)</sup>
Geogrelha	✓	-	-	-	-	✓	-
Geomembrana	✓	-	-		-	-	✓
Georrede	-	✓	-	✓	-	-	-
Geocomposto Argiloso	-	-	-	-		-	✓
Geocélula	-	✓	-	-	✓	✓	-
Geotubo	-	-	-	✓	-	-	-
Geofibras	-	-			-	✓	-

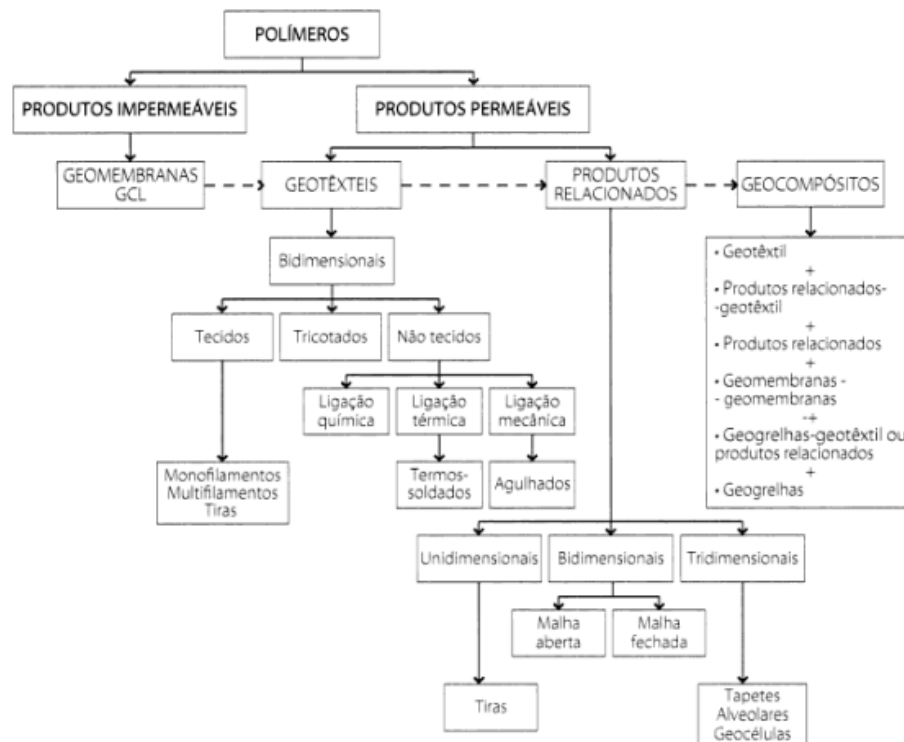
(\*) Quando impregnado com material asfáltico.

### 2.1.2 Classificação

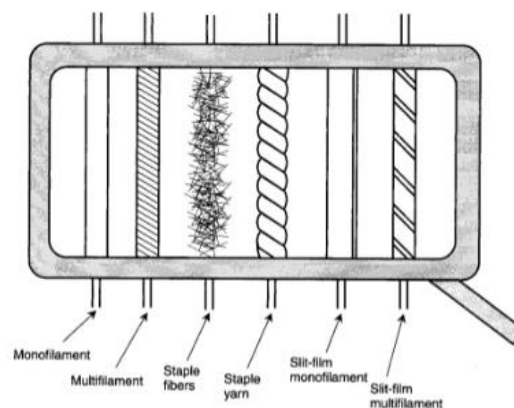
Os produtos geossintéticos podem ser classificados em: geotêxteis e produtos correlatos; barreiras impermeáveis (geomembranas); e geocompostos (VIDAL, 2013). A diferenciação se dá conforme o processo de fabricação e estrutura do material geossintético, ver Figura 1. De um modo geral, a fabricação de um geossintético envolve três etapas:

- Produção do polímero base e seus aditivos - após processo e polimerização e acréscimo dos aditivos necessários, são fornecidos aos fabricantes sob forma granular ou esférica;
- Produção de seus componentes – obtidos a partir da fiação líquida do polímero ou extrusão, resultam mais comumente em filamento contínuo circular, tira plana contínua ou folha/película, ver Figura 2;
- Transformação de seus componentes no geossintético – são várias as combinações dos componentes que resultam na estrutura do produto final.





**Figura 1 – Classificação dos geossintéticos de acordo com sua estrutura e processo de fabricação (LOPES & LOPES, 2010).**



**Figura 2 – Exemplo de fibras poliméricas utilizadas na fabricação dos geotêxteis (KOERNER, 2005).**

### 2.1.3 Matérias-primas e propriedades

As matérias-primas utilizadas na fabricação dos geossintéticos dividem-se em dois grupos: naturais e químicas. As naturais de origem vegetal são juta, algodão, linho e cânhamo, de origem animal são as lãs e mineral são os amiantos. As químicas, por sua vez, podem ser orgânicas, polímeros naturais transformados como

viscose e acetato (polímeros sintéticos), ou inorgânicas, minerais como vidro, carbono e metais (LOPES & LOPES, 2010).

Os materiais mais utilizados na fabricação dos geossintéticos são os orgânicos sintéticos obtidos a partir do petróleo, chamados de plásticos. Estes plásticos podem ser termoplásticos, amolecem e endurecem por aquecimento e resfriamento, ou termoendurecidos, quando endurecem a partir do estado fundido não amolecem pela ação do calor. No caso dos geossintéticos os plásticos são do tipo termoplásticos compostos por uma base polimérica (LOPES & LOPES, 2010).

Portanto, os geossintéticos se constituem essencialmente por polímeros, compostos químicos formados por grandes moléculas de carbono, com alto peso molecular, interligadas por forças atrativas com átomos de hidrogênio e outros átomos (VERTEMATTI *et. al.*, 2004). A formação das cadeias é designada como polimerização e a configuração estrutural dessas moléculas diz muito sobre as propriedades do produto final (LOPES & LOPES, 2010).

No geral, os polímeros base empregados na fabricação dos geossintéticos são (SHUKLA, 2002 *apud.* LOPES & LOPES, 2010): Poliésteres, em particular o polietileno teraftalato (PET); Polipropilenos (PP); polietilenos (PE) de muito baixa densidade (PEMBD), de média densidade (PEMD) e de alta densidade (PEAD); Polietilenos clorinados (CPE); Polietilenos clorossulfunados (PECS); Poliamidas (PA); Policloreto de vinilo (PVC).

Os principais polímeros, segundo Vertematti (2004), utilizados na fabricação dos geossintéticos são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Principais polímeros utilizados na fabricação de geossintéticos (adaptado de VERTEMATTI *et. al.*, 2004).**

<b>Polímero</b>	<b>Sigla</b>	<b>Aplicações</b>
Polietileno	PE	Geotêxteis, Geomembranas, Geogrelhas, Geotubos, Georredes e Geocompostos
Poliestireno Expandido	EPS	Geoexpandidos
Polipropileno	PP	Geotêxteis, Geomembranas, Geogrelhas, Geocompostos
Polivinil Clorado	PVC	Geomembranas, Geotubos, Geocompostos
Poliéster	PET	Geotêxteis, Geogrelhas
Poliestireno	PS	Geocompostos, Geoexpandidos
Poliamida	PA	Geotêxteis, Geogrelhas, Geocompostos

Também estão presentes na formulação os aditivos, que melhoram o processo de fabricação e podem modificar o polímero básico dependendo do aspecto técnico que se deseja em uma obra de engenharia. Esses aditivos podem ser plastificantes, antioxidante, inibidores de ação ultravioleta e etc (VERTEMATTI, 2004).

O negro-de-fumo é um aditivo utilizado como estabilizador térmico contra as radiações UV na proporção de 2 a 3%. É principalmente aplicado em compostos de polietileno devido à deterioração das geomembranas causada pela alta incidência de radiação solar (KOERNER, 2005). Os plastificantes são muito utilizados na fabricação do PVC para oferecer maior flexibilidade à manta. Os antioxidantes têm dois propósitos diferentes, proteção contra altas temperaturas no processo de extrusão e baixas temperaturas quanto à degradação do polímero.

Outros aditivos são aplicados como pigmentos ou corantes, retardadores de chama, estabilizadores térmicos e agentes antiestéticos. Os aditivos que são compostos de materiais pesados estão sendo substituídos para evitar danos ao meio ambiente (KOERNER, 2005).

As características mecânicas, químicas, físicas, hidráulicas e de durabilidade de um geossintético dependem do tipo de matéria-prima utilizada em sua fabricação. Em relação às propriedades demonstra-se nas Tabela 5 e Tabela 6 as mais importantes dentre os polímeros constituintes dos geossintéticos.

Analisando os dados da Tabela 5 é possível constatar que os materiais possuem boa resistência a tração e alta deformação, com exceção do poliestireno que se rompe para baixas deformações. Dentre os dados apresentados na Tabela 6, destacam-se a temperatura de transição vítrea e a densidade dos polímeros.

**Tabela 5 – Características mecânicas mais importantes dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (STEVENS, 1990 *apud* VERTEMATTI, 2004).**

Polímero	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)	Módulo de elasticidade em tração (GPa)
PEAD	8,3 a 31	100 a 650	0,2 a 0,3
PEBD	22 a 31	10 a 1200	1,07 a 1,09
PP	31 a 41	100 a 600	1,17 a 1,72
PS	36 a 52	1,2 a 2,5	2,28 a 3,28
PVC	41 a 52	40 a 80	2,41 a 4,14
PET	48 a 72	50 a 300	2,76 a 4,14
PA 66	76 a 83	60 a 300	-

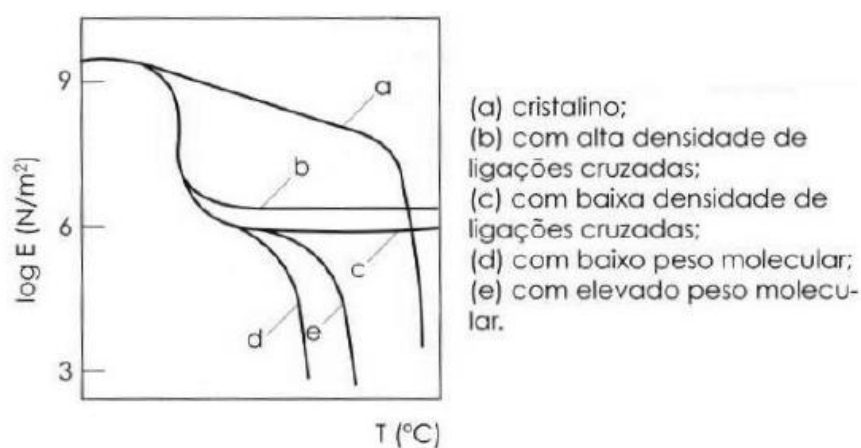
**Tabela 6 – Características físicas mais importantes dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (adaptado de VERTEMATTI *et. al.*, 2004).**

Polímero	Peso Molecular	Densidade	Tg	Tf	Cristalinidade	Características
PEAD	200.000	0,94 a 0,96	-100 a -125	130 a 135	< 95	Branco, opaco
PEDB	50.000	0,91 a 0,94	-20 a -30	109 a 125	< 60	Branco, translúcido a opaco
PP	80.000 a 500.000	0,90	4 a 12	165 a 175	60 a 70	Branco, opaco
PS	300.000	1,05 a 1,06	100	235	Muito baixa	Incolor, transparente
PVC	50.000 a 100.000	1,53 a 1,56	81	273	5 a 15	Incolor, transparente
PET	15.000 a 42.000	1,33 a 1,45	70 a 74	250 a 270	< 40	Branco, transparente a opaco
PA/6	10.000 a 30.000	1,12 a 1,14	50	215 a 220	< 60	Amarelado, translúcido
PA/66	10.000 a 20.000	1,13 a 1,15	50	250 a 260	< 60	Amarelado, translúcido

Tg – Temperatura de transição vítrea; Tf – temperatura de fusão.

A característica que mais afeta o comportamento mecânico é o peso molecular. No geral, quanto maior for, maior será a resistência. A estrutura química também exerce influência sobre as propriedades mecânicas, que se elevam a medida que em que há uma maior atração eletroquímica entre as macromoléculas formadoras (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).

De acordo com a Figura 3, a temperatura exerce influência sobre o módulo de deformabilidade do polímero. O gráfico da figura apresenta os resultados obtidos no ensaio de tração para os polímeros com diferentes características.



**Figura 3 – Efeito da temperatura na deformabilidade dos polímeros (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).**

É possível observar uma elevada rigidez inicial que caracteriza a região chamada vítrea, cujo limite superior é a temperatura de transição vítrea. Na sequência, o material escoar e adquire um comportamento borracha, com módulos de deformação menores, e em altas temperaturas o material flui.

Quanto maior for o peso molecular do polímero, maior será a temperatura necessária para ocorrer o fluxo plástico do material. Já polímeros com alto grau de cristalinidade, não apresentam o trecho intermediário de comportamento borracha, permanecendo no estado vítreo até a temperatura que fluem. Aqueles com alto grau de ligações cruzadas não fluem e quanto maiores forem as ligações maior será o módulo no trecho borracha (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).

Tendo em vista que nesta pesquisa os geotêxteis não tecidos de poliéster serão submetidos ao procedimento de impregnação com asfaltos aquecidos, o entendimento destas propriedades contribuem na avaliação dos resultados. Principalmente, sobre as temperaturas de transição vítrea e ponto de fusão, que para o poliéster são da ordem de 74°C e 260°C, respectivamente.

#### **2.1.4 Aplicações em obras de engenharia**

É possível elencar a aplicação dos geossintéticos em obras de barragens e reservatórios, depósitos de resíduos líquidos e sólidos, canais, rodovias e ferrovias, fundações e estruturas de suporte, sistema de controle de erosão, túneis e estruturas subterrâneas, sistemas de drenagem (ABNT NBR ISO 10318/2013).

Segundo Silva (2014), os geossintéticos têm grande histórico de aplicação em rodovias, com o uso de geotêxteis não tecidos em sistemas de drenagem de pavimentos, geocompostos drenantes e reforços. Em obras de ferrovias estes materiais apresentam o mesmo potencial que em rodovias. Na indústria o uso de geossintéticos é bastante amplo e depende muito do tipo de atividade. Em aterros sanitários o tipo mais utilizado são as geomembranas como barreira de fluxo, associadas aos geocompostos argilosos e sistemas de filtração e drenagem. Por fim, seu uso também está associado a obras de canais, rios e costas, principalmente como controle de erosão e proteção.

O Comitê Técnico de Geossintéticos – CTG ABINT (2015) exemplifica as aplicações, conforme Tabela 7.

**Tabela 7 - Aplicações dos geossintéticos em obras de engenharia (adaptado de CTG, 2015).**

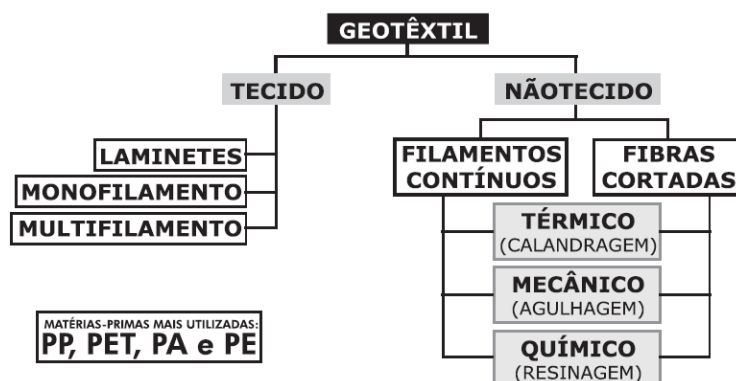
<b>OBRA</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
GEOTÉCNICAS E VIÁRIAS	Sistemas drenantes subterrâneo
	Muros e taludes
	Controle de erosão
	Aterros sobre solos moles
	Aterros sobre estacas
	Aterros sobre cavidades
	Adensamento de solos
	Restauração de pavimentos
	Base de pavimentos
	Separação e reforço construtivo
	Túneis
PROTEÇÃO AMBIENTAL	Aterros de resíduos sólidos
	Cortinas verticais com geomembranas
	Lagoas de efluentes industriais
	Lagoas de estabilização
	Sistemas de tratamento de dejetos
HIDRÁULICAS E COSTEIRAS	Minérios e rejeitos de mineração
	Barragens
	Canais
	Reservatórios
	Contenção de aterros mecânicos e hidráulicos
OUTRAS	Praias e portos
	Obras industriais
	Lazer e esportes
	Drenagem agrícola
	Aquicultura
	Construção civil

## 2.2 GEOTÊXTEIS - GTX

O geotêxtil é um produto geossintético, polimérico, industrializado que, segundo o IGS - Brasil (2015), se apresenta na forma de uma manta contínua composta por fibras ou filamentos que podem ser tecidos (GTX-W), não tecidos (GTX-N) ou tricotados (GTX-T).

Estas mantas são flexíveis e permeáveis sendo aplicadas em obras de engenharia civil com função de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões.

De acordo com a ABINT (2001), os geotêxteis são divididos em dois grandes grupos, baseados no processo de fabricação, sendo os tecidos e os não tecidos, conforme Figura 4.



**Figura 4 - Processos de fabricação de geotêxteis tecidos e não tecidos (ABINT, 2001).**

Os principais polímeros termoplásticos e semicristalinos utilizados para a confecção das fibras dos geotêxteis no exterior são: poliamida (1%); polietileno (2%); poliéster (12%); e polipropileno (85%). No Brasil 95% dos geotêxteis são produzidos com fibras de poliéster.

As fibras de poliéster são utilizadas nos geotêxteis principalmente por suas propriedades mecânicas, como a elevada resistência a tração (KOERNER, 2005).

### 2.2.1 Tecidos

Quando o geotêxtil é formado por uma estrutura tecida, seus filamentos são dispostos de maneira alinhada segundo direções preferenciais. Denomina-se “trama” aos filamentos no sentido transversal e “urdume” aqueles no sentido longitudinal a direção de fabricação (ABINT, 2001).

A estrutura resultante do tipo tecido apresenta uma distribuição de poros relativamente regular, com espessura entre 1 e 2mm e aspecto de fios perpendiculares entrelaçados entre si em forma de uma malha simples (LOPES & LOPES, 2010), conforme ilustra a Figura 5.

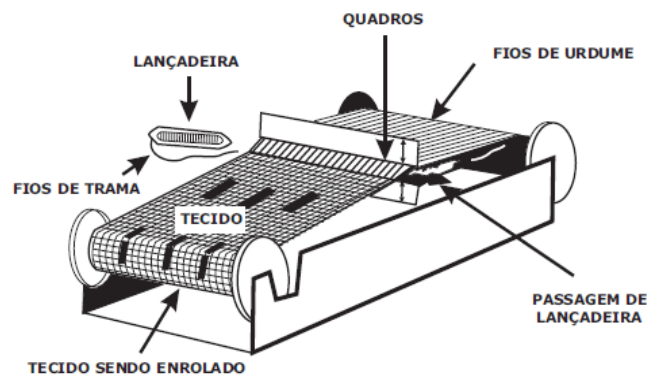
Segundo Ingold e Miller (1988) *apud* Lopes & Lopes (2010), não há critérios que relacionem a utilização de um determinado polímero com a estrutura do geotêxtil tecido. Contudo, a estrutura do geotêxtil tecido tem grande influência nas

propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas, bem como em sua anisotropia (SHUKLA, 2002 *apud*. LOPES & LOPES, 2010).

Os tecidos basicamente são fabricados em teares que tramam os fios ou laminetes. A Figura 6 apresenta o esquema de fabricação destes geotêxteis.

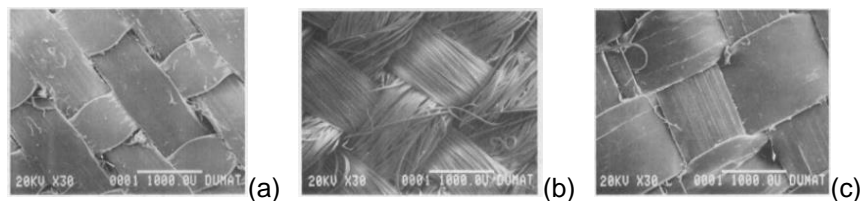


**Figura 5 – Geotêxtil tecido (TEIXEIRA, 2013).**



**Figura 6 - Fabricação de geotêxteis tecidos (ABINT, 2001).**

De acordo com Lopes & Lopes (2010), os componentes mais utilizados na fabricação dos geotêxteis tecidos são fitas, extrudadas ou obtidas a partir do corte de folhas poliméricas, multifilamentos e monofilamentos. A Figura 7 apresenta imagens ampliadas em trinta vezes destes três componentes utilizados na fabricação de geotêxteis tecidos.



**Figura 7 – Componentes utilizados na fabricação de geotêxteis tecidos. (a) monofilamento tecido calandrado; (b) multifilamentos; (c) laminetes (KOERNER, 2005).**



### 2.2.2 Não tecidos

O geotêxtil não tecido é composto por filamentos contínuos ou fibras cortadas dispostos aleatoriamente e interligados por processo mecânico, químico ou térmico.

Segundo Teixeira (2013), aqueles cujas fibras são interligadas por processos químicos são chamados resinados. Os ditos termoligados ou termosoldados são aqueles cujas fibras sofreram fusão parcial por aquecimento. O geotêxtil não tecido agulhado é aquele cujas fibras foram unidas mecanicamente por processo de agulhagem. Existem também os produzidos por fusão química (“flash spinning”). As figuras a seguir ilustram as fotos ampliadas dos diferentes tipos.

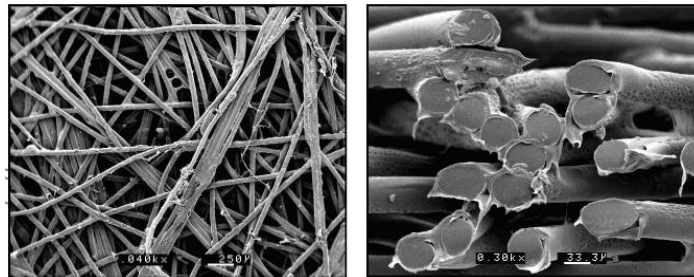


Figura 8 – Aspecto do geotêxtil não tecido agulhado (TEIXEIRA, 2013).

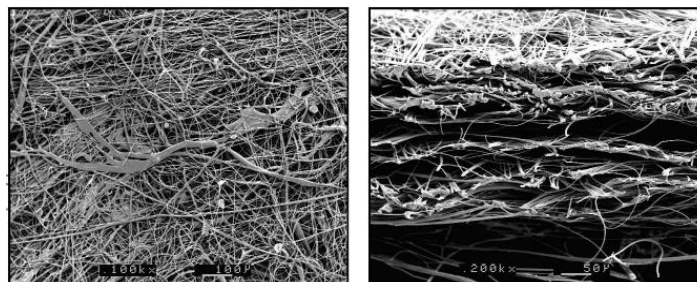


Figura 9 – Aspecto do geotêxtil não tecido termosoldado (TEIXEIRA, 2013).

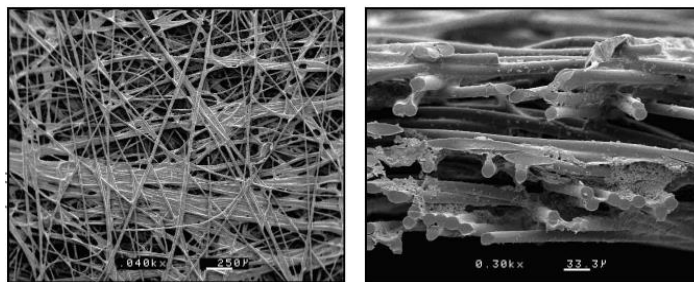
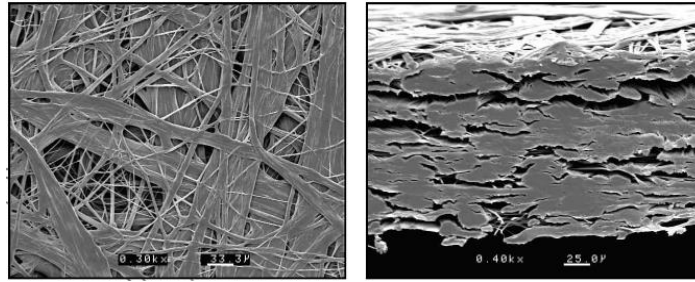


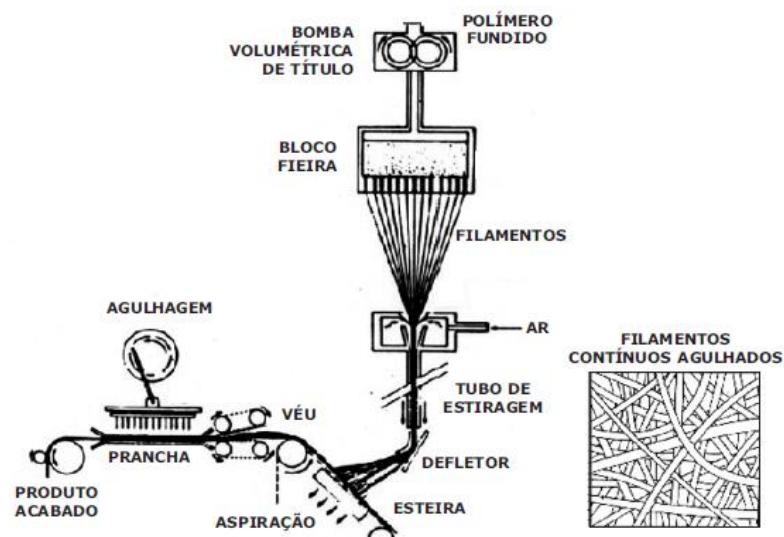
Figura 10 – Aspecto do geotêxtil não tecido resinado (TEIXEIRA, 2013).



**Figura 11 – Aspecto do geotêxtil não tecido por fusão química (TEIXEIRA, 2013).**

Os processos principais de fabricação dos geotêxteis não tecidos são via carda e via fundida (ABINT, 2001). O processo via por via fundida é o processo de fabricação do geotêxtil não tecido de poliéster (PET).

No processo de fabricação por via fundida, destaca-se a fiação contínua por extrusão, onde os filamentos são resfriados, estirados e depositados sobre uma esteira rolante em forma de mantas, de acordo com a Figura 12. Estes são consolidados por intensa agulhagem mecânica, calandragem ou resinagem resultando no produto final.



**Figura 12 - Fabricação de geotêxteis não tecidos de filamentos contínuos agulhados por via fundida (ABINT, 2001).**

Segundo Correia (2010), os diferentes processos de fabricação dos geotêxteis não tecidos influenciam em suas propriedades tais como gramatura, espessura, resistência, permeabilidade, entre outras.

### 2.2.3 Propriedades e ensaios padrão

Segundo Vertematti *et. al.* (2004), os ensaios executados em geotêxteis podem ser aplicados a outros tipos de geossintéticos, por este motivo são denominados “ensaios em geotêxteis e produtos correlatos”. Estes ensaios são divididos em quatro grupos:

- Ensaios para a determinação das propriedades físicas;
- Ensaios para a determinação das propriedades mecânicas;
- Ensaios para a determinação das propriedades hidráulicas;
- Ensaios para a determinação das propriedades de desempenho.

Segundo Vidal (2013), as propriedades dos produtos podem ser divididas em:

- Propriedades índices que são exatamente aquelas fornecidas pelo fabricante do produto, não consideram as condições de obra e traduzem a propriedade do produto obtida em ensaios padrão. Neste caso, os ensaios no produto são aqueles para determinação das propriedades físicas, mecânicas, hidráulicas e de durabilidade ou desempenho;
- Propriedades funcionais, são obtidas do produto sob as condições e solicitações de campo;
- Propriedades requeridas, as calculadas e adotadas no projeto.

#### 2.2.3.1 Propriedades físicas

Dentre as propriedades físicas, as de maior interesse são a espessura e a massa por unidade de área. Porém, podem ser listadas ainda a porosidade, porcentagem de área aberta, ponto de amolecimento e retenção de asfalto.

A espessura nominal ( $t_g$ ), dada em milímetros (mm), é determinada de acordo com a norma brasileira ABNT NBR ISO 9863-1:2013 que especifica um método para determinação da espessura de geossintéticos a determinadas pressões e define a pressão para determinar a espessura nominal.

O ensaio consiste em registrar a distância interna entre duas placas rígidas que comprimem o corpo de prova sob uma tensão vertical de 2kPa. A área de contato, segundo a norma, deverá ser de 2500mm<sup>2</sup>.

É importante ressaltar que os geotêxteis não tecidos e geocompostos se comprimem sob tensão. Os demais materiais apresentam espessura praticamente constantes independente da tensão a qual são submetidos (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).

A massa por unidade de área ou gramatura ( $\mu$ ), expressa em g/m<sup>2</sup>, é determinada de acordo com a ABNT NBR ISO 9862:2013 que estabelece os princípios gerais para amostragem de geossintéticos entregues na obra e preparação das amostras para os ensaios dos corpos de prova. Trata-se da relação entre a massa e a área de um corpo de prova de geometria regular. O valor médio de dez amostra representa a gramatura média do material.

Segundo Vidal (2015), a gramatura deve ser utilizada para um controle rápido, na análise de heterogeneidade ou estimativa de peso. Não indica diretamente as propriedades mecânicas ou hidráulicas e, sim, deve estar atrelada a demais propriedades.

Vertematti (2004), resalta que a gramatura associa-se ao custo e a resistência mecânica do material. Deve ser utilizada como um índice de caracterização comparado entre outros produtos da mesma família (mesmo processo de fabricação e matérias-primas).

Os valores típicos de gramatura de geotêxteis variam entre 100 e 900g/m<sup>2</sup>.

A porosidade ( $n_g$ ) é a relação entre o volume de poros e o volume total do geotêxtil ou amostra dada em porcentagem e, segundo Vertematti (2004), pode ser enquadrada como uma propriedade física. Koerner (2005) afirma que esta propriedade é dita como a capacidade de um líquido escoar através de um geotêxtil, porém raramente é medida diretamente, e enquadra esta propriedade como hidráulica. Contudo, a fórmula para determinação é considera basicamente propriedades físicas.

É possível constatar através da fórmula que a porosidade está diretamente relacionada com a espessura do material, que por sua vez, em se tratando de um geotêxtil não tecido agulhado, como será exposto adiante, depende do carregamento normal aplicado.

Para determinação do ponto de amolecimento, é adotado aquele igual ao da matéria-prima constituinte do geotêxtil expresso em graus Célsius.

O ensaio para determinação da taxa de retenção de asfalto em geotêxteis ( $R_A$ ) é normalizado pela ASTM D 6140:2014 e esta propriedade é expressa em l/m<sup>2</sup>. A norma estabelece o critério para determinação da retenção de cimento asfáltico, porém pode ser utilizada como base para determinação considerando outros materiais asfálticos. Caso a densidade do asfalto não seja conhecida, poderá ser adotado 1 ou 1000 g/l, conforme preconizado pela norma.

### 2.2.3.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas são empregadas nos métodos de dimensionamentos, expressando relações entre carregamentos e deformações.

A resistência à tração para os geotêxteis e correlatos e barreiras geossintéticas argilosas são expressas em kN/m ou em porcentagem. A norma que estabelece esta propriedade mecânica é a ABNT NBR ISO 10319:2013. A Norma, segundo a ABNT (2013), descreve um método de ensaio para a determinar um índice das propriedades de tração dos geossintéticos usando uma faixa larga. O método é aplicável à maioria dos geossintéticos, incluindo geotêxteis tecidos, geotêxteis não tecidos, geocompostos, geotêxteis tricotados e feltros. O método é também aplicável para geogrelhas e geotêxteis de estrutura aberta similar, mas as dimensões do corpos de prova precisam ser alteradas. Este ensaio não é aplicável a barreiras geossintéticas poliméricas ou betuminosas, mas se aplica a barreiras geossintéticas argilosas.

Para as barreiras geossintéticas poliméricas e betuminosas a resistência à tração, dada em N/mm<sup>2</sup> ou porcentagem, é estabelecida pela ABNT NBR 15856:2010. Segundo a ABNT (2010), a norma especifica um método de ensaio para a determinação das propriedades de tração de geossintéticos poliméricos para barreira de fluxo, tais como geomembranas e placas termoplásticas e termofixadas simples e reforçadas e produtos correlatos.

Além da resistência à tração, são propriedades mecânicas: a resistência ao puncionamento estático, dada em kN, estabelecida pela ABNT NBR ISO 12236:2013; a resistência a perfuração dinâmica, dada em milímetro, estabelecida pela ABNT NBR ISO 13433:2013; comportamento em fluência à tração segundo a

ABNT NBR 15226:2005; comportamento de fluência à compressão segundo a ABNT NBR ISO 25619-1:2013.

Para os produtos correlatos podem ser listados ainda, segundo Vidal (2013), os ensaios de: resistência a compressão planar, aplicada a georredes e geoespaçadores, estabelecida pela ISO 25619-2:2008; resistência a compressão diametral, aplicada em tubos drenos, ISO 21138:2007.

Também, é possível determinar a resistência à propagação de rasgos a partir de uma incisão inicial, conforme especifica a norma ASTM D 4533:2015.

A compressibilidade de um geotêxtil é a variação de espessura de acordo com a tensão normal aplicada. São considerados praticamente incompressíveis os tipos tecidos, os não tecidos calandrados e termosoldados. Para os tipos não tecidos agulhados e resinados a propriedade de compressibilidade é importante (KOERNER, 2005).

A Figura 13 apresenta resultados em forma de um gráfico da determinação das espessuras (mm) no eixo y versus tensão aplicada (kPa) no eixo x para diferentes tipos de geotêxteis. Sendo: NW-NP (heavy) – Não tecido agulhado denso; NW-NP (light) – Não tecido agulhado leve; NW-HB – Não tecido termosoldado; Woven monofilament – Tecido de monofilamentos; Woven slit film – Tecido de laminetes.

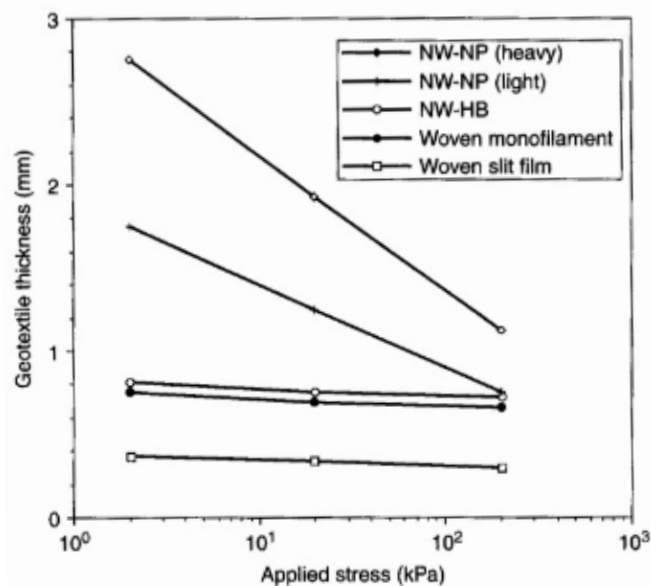


Figura 13 - Compressibilidade dos diferentes tipos de geotêxteis (KOERNER, 2005).

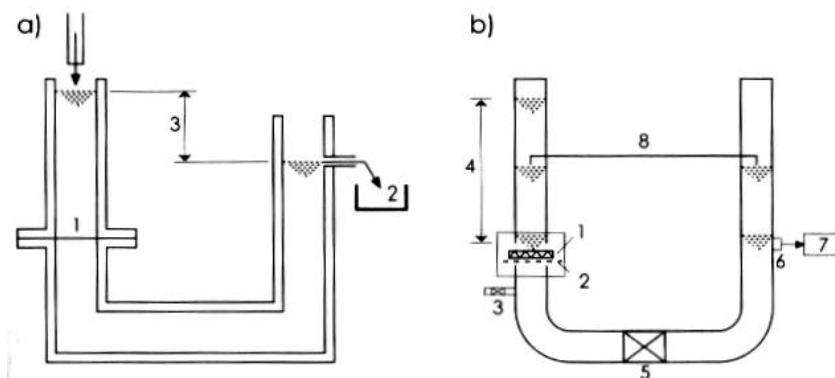
Com base no gráfico da Figura 13 é possível observar que o geotêxtil não tecido agulhado é o produto mais compressível. Esta propriedade está diretamente relacionada com sua gramatura.

#### 2.2.3.3 Propriedades hidráulicas

Os geossintéticos são amplamente utilizados com as funções de drenagem e filtração. Para isto torna-se imprescindível conhecer suas propriedades hidráulicas.

A determinação da permeabilidade normal em geotêxteis ( $K_n$ ) é semelhante à empregada em mecânica dos solos com o uso de permeâmetros de carga constante ou variável. Uma quantidade específica de água atravessa um corpo de prova de geotêxtil de dimensões conhecidas, sendo realizadas leituras da diferença de carga d'água ( $\Delta h$ ) e o tempo necessário para essa travessia. A precisão na obtenção das leituras está diretamente ligada à velocidade com que o fluxo de água atravessa o geotêxtil.

A Figura 14 exemplifica esquematicamente os dois tipos de determinação, carga variável e carga constante.



**Figura 14 – Esquema do ensaio de permeabilidade normal em geotêxteis. O ensaio com carga constante a) onde: 1 – geotêxtil; 2 – coletor de água; 3 -  $\Delta H$ . O ensaio de carga variável b) onde: 1 – geotêxtil; 2 – tela para suporte do corpo de prova; 3 – registro; 4 – altura inicial da coluna d'água; 5 – registro; 6 – transdutor de pressão; 7 – unidade de leitura digital; 8 – equilíbrio hidráulico ao final do ensaio (VERTEMATTI *et. al.*, 2004).**

O geotêxtil é um material com características de compressibilidade que apresenta diferentes valores de condutividade hidráulica para diferentes espessuras. O valor da permeabilidade tende a decrescer com o aumento dos esforços normais aplicados ao material (VERTEMATTI, 2004). Devido a este aspecto, define-se o parâmetro permissividade ( $\Psi$ ), que segundo Vidal (2015), elimina a dificuldade de

medida de espessura durante o ensaio e, devido as pequenas espessuras dos geotêxteis, representa melhor suas condições de permeabilidade.

A permissividade correlaciona o coeficiente de permeabilidade normal e a espessura do geossintético submetido à determinada tensão (VERTEMATTI, 2004), conforme equação:

$$\Psi = \frac{K_n}{t_g} \quad (1)$$

Segundo Koerner (2005), a permissividade pode ser aplicada na fórmula Lei de Darcy da seguinte forma:

$$Q = K_n \cdot i \cdot A \quad \therefore \quad Q = K_n \cdot \frac{\Delta h}{t_g} \cdot A \quad \therefore \quad Q = \Psi \cdot \Delta h \cdot A \quad (2)$$

Ou

$$\frac{K_n}{t_g} = \Psi = \frac{Q}{\Delta h \cdot A} \quad (3)$$

Onde:

$Q$  – vazão (m³/s)

$i$  – gradiente hidráulico

$\Delta h$  – carga total (m)

$A$  – área total do corpo de prova (m²)

A formulação descrita aplica-se para os ensaios de carga constante indicado para materiais com permeabilidade elevada. Para os ensaios de carga variável, indicado para valores de permeabilidade muito baixos, a Lei de Darcy é integrada para a diferença de carga em um determinado tempo (KOERNER, 2005).

Segundo Pinto (2000), a vazão de água que atravessa o corpo de prova é igual a que atravessa a tubulação que abastece o equipamento de ensaio:

$$Q = \frac{-a \, dh}{dt} \quad (4)$$



Sendo  $a$  a área do tubo e  $a dh$  o volume que escoou no tempo  $dt$ . O sinal negativo indica que  $h$  diminui com o tempo.

Igualando as expressões de vazão:

$$-a \frac{dh}{dt} = K_n \frac{\Delta h}{t_g} A \quad \therefore \quad \frac{dh}{\Delta h} = -K_n \frac{A}{a \cdot t_g} dt \quad (5)$$

Integrada da condição inicial ( $h = h_i, t = 0$ ) à condição final ( $h = h_f, t = t_f$ ), conduz a:

$$\ln \frac{h_f}{h_i} = -K_n \frac{A}{a \cdot t_g} t \quad (6)$$

E, a equação final:

$$K_n = 2,3 \frac{a \cdot t_g}{A \cdot \Delta t} \log \frac{h_i}{h_f} \quad (7)$$

Ou

$$\frac{K_n}{t_g} = \Psi = 2,3 \frac{a}{A \cdot \Delta t} \log_{10} \frac{h_i}{h_f} \quad (8)$$

Onde:  $a$  – área do tubo que abastece o sistema (m<sup>2</sup>)

$A$  – área total do corpo de prova (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  – intervalo de tempo entre  $h_i$  e  $h_f$  (segundos)

$h_i$  – carga no início do ensaio (m)

$h_f$  – carga no fim do ensaio (m)

A norma ASTM D 4491:2014, análoga a NBR ISO 11058:2013, se baseia na Lei de Darcy, conforme exposto, e apesar de ter sido escrita para os ensaios de carga constante com carga hidráulica de 50mm, pode ser empregada em ensaios de carga variável na determinação da permissividade em geotêxteis.

Uma consideração importante preconizada pela norma se refere ao controle da temperatura da água durante o ensaio, devido a sua viscosidade. Com isso, a equação considera a determinação de um fator de correção da temperatura designado como  $R_t$ .

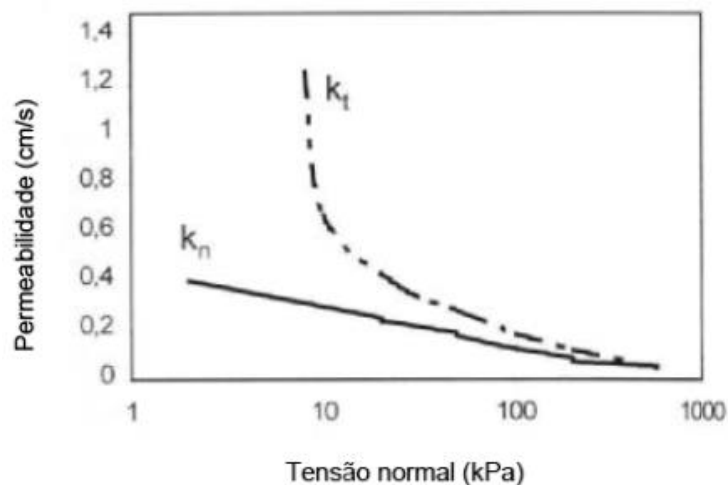
De acordo com Koerner (2005), assim como nos solos, os valores de permissividade e permeabilidade dos materiais geotêxteis variam bastante e podem ser citadas as ordens de grandeza de:

- Permissividade – de  $0,02$  até  $2,2s^{-1}$ ;
- Permeabilidade – entre  $8 \times 10^{-6}$  até  $2 \times 10^{-3}m/s$ .

A permeabilidade planar ( $K_p$ ) e transmissividade ( $\theta$ ) estão relacionadas a função de drenagem e traduzem a quantidade de água que atravessa o material ao longo do seu corpo. Do mesmo modo para a permeabilidade normal ao plano, a permeabilidade planar também está relacionada ao esforço normal aplicado decrescendo quando o geotêxtil se comprime.

A norma ASTM D 4716/D 4716M:2013, análoga a NBR ISO 12958:2013, se baseia na Lei de Darcy, conforme exposto, para determinar a transmissividade em geotêxteis. Estas, segundo a ABNT (2015), especificam um método de ensaio para determinação da capacidade de fluxo no plano sob carga hidráulica constante de um geotêxtil ou produto correlato.

A permeabilidade dos geotêxteis varia de acordo com a direção do fluxo e a tensão normal aplicada. A Figura 15 representa este comportamento através de um gráfico em que é possível verificar que a permeabilidade normal é menos suscetível a esta condição quando comparada ao comportamento da permeabilidade transversal.



**Figura 15 - Anisotropia e dependência da tensão normal aplicada (GARDONI, 1999 *apud*. SILVA, 2014).**

A abertura de filtração ( $O_{95}$ ) refere-se ao diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geotêxtil. O material é submetido a um ensaio de granulometria com esferas de vidro de diâmetro conhecido. O diâmetro que corresponde a 95% da porcentagem que passa é denominado abertura de filtração. Esta abertura representa a menor partícula que o geotêxtil pode reter ou a maior partícula que pode passar através do material (VERTEMATTI, 2004). Esta propriedade pode ser definida de acordo com o preconizado na norma NBR ISO 12956:2013.

Vidal (2013) especifica, além dos ensaios já comentadas, o ensaio para determinação da permeabilidade à água em barreiras geossintéticas argilosas (ASTM D 5887:2009) e poliméricas (EM 14150:2006).

#### 2.2.3.4 Propriedades de desempenho

As propriedades de desempenho são aquelas que traduzem o comportamento do material em função do tempo. Segundo Vidal (2015), os ensaios se dividem em dois grupos:

- Os ensaios de fluência, relaxação, resistência à abrasão, fadiga, colmatção, perdas de partículas e etc, que estudam a variação no tempo das características do geotêxtil sob o efeito das condições de carregamento ou fluxo;
- O estudo da variação no tempo das características do geotêxtil face aos ataques do meio ambiente, tais como efeito da temperatura, estabilidade aos raios ultravioletas, resistência aos ataques químicos e biológicos.

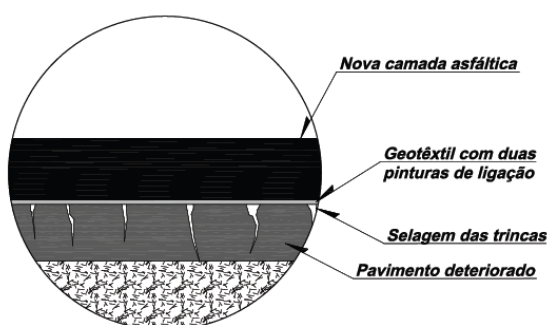
#### 2.2.4 Aplicações em obras rodoviárias

Especificamente na área rodoviária o geotêxtil é utilizado com as funções de sistema anti-reflexão de trincas e de juntas, redução de deformações plásticas e bloqueio de bombeamento de finos (VERTEMATTI, *et. al.* 2004).

Em restaurações de pavimentos degradados, o geotêxtil aplicado na interface das camadas antiga e nova de asfalto, retarda a ascensão de trincas entre as capas de asfalto, pois seus filamentos ou fibras redistribuem as tensões que se concentram nas bordas das trincas e fissuras.

A ação de impermeabilização da manta impregnada com asfalto evita a perda da capacidade de suporte dos solos e dos materiais granulares, que pode ocorrer através das trincas do revestimento sob o umedecimento que a infiltração das águas pluviais.

De acordo com a ABINT (2001), para atuar corretamente o geotêxtil deve ser totalmente saturado com asfalto e estar aderido a ambas as superfícies, através de imprimações. Um conjunto impermeável é obtido com as trincas e fissuras preenchidas e o geotêxtil saturado com asfalto. A Figura 16 ilustra esquematicamente a seção de um pavimento recapeado com a utilização de geotêxtil.



**Figura 16 – Seção esquemática de um pavimento recapeado com o uso de geotêxtil (MACCAFERRI, 2010).**

Contudo, o efeito dos geotêxteis sobre pavimentos na restauração da superfície de rodovias asfálticas e sua incorporação à construção é um mecanismo complexo, determinado por vários parâmetros tais como: tipo do geotêxtil, tipo da mistura asfáltica, impregnação do ligante no geotêxtil, estrutura da superfície e processo construtivo (MACCAFERRI, 2010).

Vertematti *et. al.* (2004) relata que da experiência na utilização em restauração de pavimentos, as propriedades relevantes para os geotêxteis a serem impregnados com asfalto são:

- Resistência à tração > 7kN/m, segundo a NBR 12.824;
- Capacidade de retenção de ligante betuminoso > 0,9l/m², segundo Texas DOT-3099;
- Ponto de amolecimento > 180°C.

Além das características citadas, são recomendáveis os geotêxteis não tecidos de poliéster ou polipropileno com gramatura  $\geq 150\text{g/m}^2$  e espessura  $\geq 1,50\text{mm}$ . O autor afirma que “pouca diferença tem sido observada entre os geotêxteis de diferentes gramaturas que atendem a estes critérios, com um ligeiro benefício adicional acrescentado pelas maiores gramaturas”.

Para que sejam obtidos os efeitos de absorção de tensões e aderência adequada da camada asfáltica de recapeamento, há que prestar atenção à taxa de aplicação do ligante asfáltico; este deve ser suficiente para a impregnação da manta geotêxtil, bem como para a ligação entre o revestimento antigo e o revestimento novo. A quantidade de emulsão asfáltica aplicada deve ser suficiente para determinar a quantidade de resíduo asfáltico. Recomendam-se, de maneira geral, as taxas de ligante asfáltico indicadas na Tabela 8.

**Tabela 8 – Taxas de aplicação de ligante asfáltico em função do tipo de geotêxtil (adaptado de MACCAFERRI, 2010).**

Geotêxtil ( $\text{g/m}^2$ )	Ligante Asfáltico Residual ( $\text{l/m}^2$ )
150	0,80 a 1,00
180	1,00 a 1,20
200	1,20 a 1,30

Segundo Vertematti *et. al.* (2004), o banho recomendado para um geotêxtil de  $200\text{g/m}^2$  é de  $1,10\text{l/m}^2$  de emulsão RR-1C, que após a ruptura e a cura, gera  $0,64\text{l/m}^2$  de resíduo asfáltico, por se tratar de uma emulsão com 63% de resíduo asfáltico ativo.

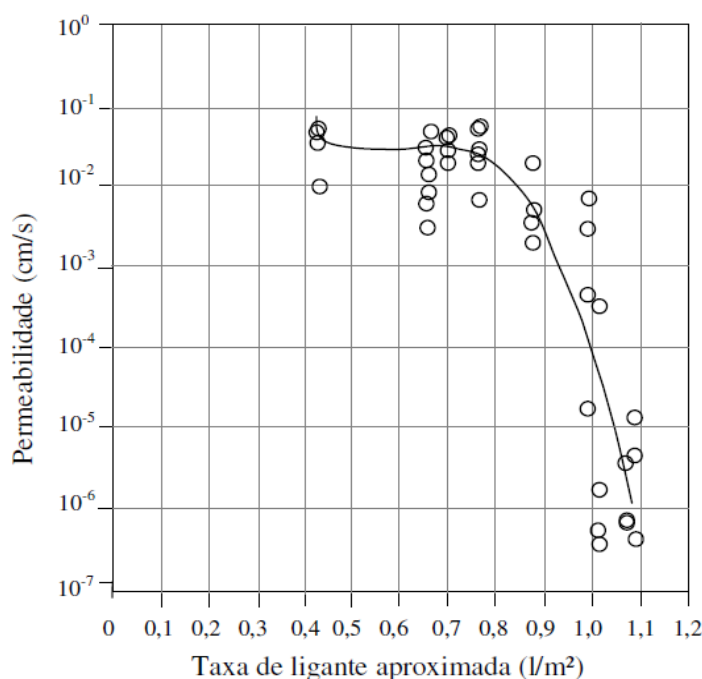
Da experiência norte-americana desde a década de 80 envolvendo geotêxteis de polipropileno com gramaturas entre  $120\text{g/m}^2$  e  $135\text{g/m}^2$ , ao se aplicar uma taxa de imprimação da ordem de  $1,10\text{l/m}^2$ , o geotêxtil deve apresentar uma taxa de impregnação entorno de  $0,90\text{l/m}^2$ .

Por fim, Vertematti *et. al.* (2004) afirma que o efeito da impermeabilização no geotêxtil é desprezível até que este absorva ao menos  $0,70\text{l/m}^2$  de asfalto residual.

Resultados de ensaios de permeabilidade em amostras de geotêxteis impregnados com diferentes quantidades de asfalto do tipo AC-20 foram realizados por Marienfeld e Baker (1999), segundo Correia (2010). O ensaio de permissividade, de acordo com o método da ASTM D 4491, foi modificado para uma coluna d'água sobre a amostra que pudesse proporcionar um fluxo ideal através de amostras de

baixa permeabilidade. Porém, não há relato da carga hidráulica adotada e nem das espessuras finais do geotêxtil impregnado.

De acordo com a Figura 17, que apresenta os resultados obtidos nestes ensaios, entre 0,4l/m<sup>2</sup> e 1,0l/m<sup>2</sup> os valores de permeabilidade variam entre 10<sup>-1</sup>cm/s e 10<sup>-3</sup>cm/s. Entre 1,0l/m<sup>2</sup> e 1,1l/m<sup>2</sup> os valores de permeabilidade variam entre 10<sup>-3</sup>cm/s e 10<sup>-7</sup>cm/s. Somente a partir de 0,9l/m<sup>2</sup> é que os resultados demonstram uma melhoria em termos de impermeabilidade e com 1,10l/m<sup>2</sup> atingem níveis elevados.



**Figura 17 – Resultados dos ensaios de permeabilidade em geotêxteis não tecidos impregnados com asfalto AC-20 (MERIENFELD e BAKER, 1999 *apud*. CORREIA, 2010).**

Correia (2010) obteve resultados de permeabilidade para geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica RR-1C, através de ensaios de vapor d'água. Este ensaio permite quantificar a perda de massa de água em termos de permeabilidade normal ao plano do geotêxtil. Contudo, não há carga hidráulica sobre as amostras ensaiadas nestas condições e os valores resultantes são elevados. Em sua pesquisa foram estabelecidas as taxas de impregnação de 0,60l/m<sup>2</sup>, 0,90l/m<sup>2</sup> e 1,10l/m<sup>2</sup> para geotêxteis de poliéster e polipropileno com gramaturas de 150 e 180g/m<sup>2</sup>. Os valores de permeabilidade alcançados variaram entre 10<sup>-9</sup>cm/s e 10<sup>-10</sup>cm/s.

### 2.2.5 Aplicações em obras de impermeabilização

A impermeabilização asfáltica é citada em uma obra do tanque de resfriamento de água por Bidim (2011). Nesta ocasião o tanque foi revestido com geotêxtil não tecido de gramatura 180g/m<sup>2</sup> e o espalhamento da emulsão asfáltica com 2,8% de bentonita realizado “in loco”. Foram aplicadas três camadas, sendo que segunda recebeu a emulsão mais bentonita diluída em água na proporção 1:0,5 (emulsão:água). A área impermeabilizada de 5.500m<sup>2</sup> apresentou desempenho satisfatório segundo relato, porém não houve informação quanto aos controles de espessuras, taxas ou permeabilidades.

Bidim (2011) cita um outro caso em que um reservatório e canais de adução pertencentes a um sistema de irrigação foram impermeabilizados com o emprego de geotêxteis não tecidos impregnados com asfalto oxidado O-115. Inicialmente a superfície do terreno do canal recebeu uma camada de asfalto diluído e na sequência o geotêxtil foi instalado e fixado ao solo. Então, o asfalto aquecido despejado sobre a manta em camada única. Também não há relatos técnicos, somente que o desempenho atendeu as expectativas, quando comparado aos trechos do canal sem o tratamento. Inclusive detectou-se que não houve degradação do canal nos trechos impermeabilizados.

## 2.3 BARREIRAS GEOSSINTÉTICAS

As barreiras geossintéticas - GBR são materiais de baixa permeabilidade que tem por finalidade prevenir ou limitar a percolação de fluídos através da estrutura (ABNT NBR ISO 10318/2013). Segundo Vidal (2013), estas barreiras podem ser argilosas (GBR-C), poliméricas (GBR-P) ou betuminosas (GBR-B).

As barreiras poliméricas são as comumente utilizadas geomebranas de PEAD ou PVC. O termo geomembrana é descrito como um geossintético essencialmente impermeável constituído por uma ou mais mantas poliméricas (ASTM D4439-11), flexíveis, fornecidas em bobinas, com espessura usual entre 1 a 2,5 mm.

A permeabilidade das geomembranas de PEAD ou PVC em torno de  $10^{-14}$  m/s é significativamente menor do que a das camadas compactadas de argila, por isso as mesmas são consideradas materiais relativamente impermeáveis (*National Highway Institute*, 1988).

As barreiras argilosas são conhecidas internacionalmente como *Geosynthetic Clay Liners* (GCL), sendo formados por uma camada de argila bentonita, ligada por meios mecânicos ou químicos a geotêxteis ou geomembranas, com aproximadamente 1cm de espessura, consumo de 5kg de bentonita por metro quadrado de geossintético, flexibilidade e autocicatrização (VERTEMATTI *et. al.*, 2004). Segundo as especificações técnicas fornecidas pela empresa Maccaferri (2010), a permeabilidade do GCL é da ordem de  $10^{-11}$  m/s.

As barreiras impermeabilizantes betuminosas são também chamadas de geomembranas betuminosas. Segundo Colmanetti (2006), são formadas pela associação de asfalto impregnado a um geotêxtil exibindo um comportamento viscoelástico, em que a deformação não depende somente da carga aplicada, mas também de sua duração e temperatura. A autora aponta para a principal desvantagem no uso deste tipo de geomembrana em obras de impermeabilização, uma vez que as faixas ou panos são dispostas simplesmente transpassadas e conectadas somente por uma película de betume.

A geomembrana betuminosa fabricada industrialmente na França, exportada mundialmente, é composta por um geotêxtil não tecido impregnado com asfalto, areia, véu de vidro e um filme anti-raiz, conforme Figura 18. Os asfalto empregado na fabricação é do tipo modificado por polímeros, os geotêxteis possuem gramaturas variando entre 200 e 400g/m<sup>2</sup> e permeabilidades da ordem de  $10^{-13}$  m/s.

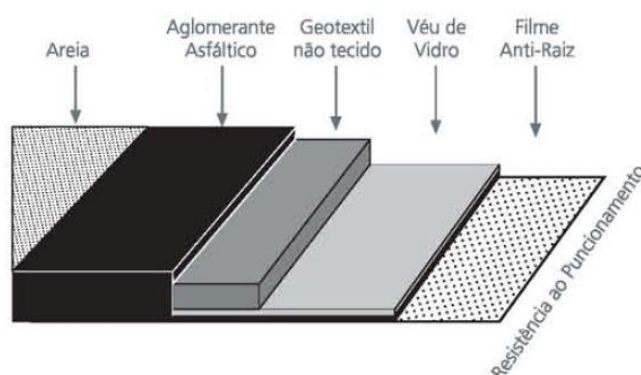


Figura 18 – Geomembrana betuminosa fabrica industrialmente (COLETANCHE, 2015).

## 2.4 MATERIAIS ASFÁLTICOS

Segundo Senço (1997), o asfalto é o mais antigo material impermeabilizante utilizado pelo homem. Sempre citado, desde a antiguidade como betume, existe



certa indefinição no que diz respeito às diferenças entre o betume e o asfalto. Da etimologia, betume significa um corpo cujas características se enquadram nas do piche, asfalto tem haver com uma espécie de cimento estável servindo para aglutinar agregados e outros materiais.

Bernucci *et. al.* (2008) também relata que o asfalto é dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. Entre todos os principais tipos de aplicações do asfalto, mais de cem, o uso na pavimentação é o mais importante e antigo.

Em referência ao asfalto os seguintes termos são frequentemente empregados:

- Betume: comumente definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono;
- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo conter oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção;
- Alcatrão: designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, que se obtém da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira e etc.

Portanto, é possível concluir que o asfalto e o alcatrão são materiais betuminosos por conter betume, mas suas propriedades são diferenciadas.

Sobre a terminologia, os europeus utilizam o termo betume para designar o ligante obtido do petróleo. Já os brasileiros e americanos utilizam o termos asfalto para designar o mesmo material.

Também, no Brasil, costuma-se designar o asfalto pela sigla CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo e classifica-los de acordo com as propriedades físicas que apresentam de penetração e viscosidade.

Dentre as várias razões para seu uso, as principais são: proporcionar forte união entre os agregados e agir como um ligante que fornece flexibilidade; ser impermeabilizante, durável e resistente a maioria dos ácidos, álcalis e sais; por poder ser utilizado aquecido ou emulsionado em várias combinações, com e sem aditivos (BERNUCCI *et. al.*, 2008).

Dos tipos de ligantes asfálticos existentes no Brasil podem ser citados: Cimentos asfálticos de petróleo – CAP; Asfaltos diluídos – ADP; Emulsões asfálticas

– EAP; Asfaltos oxidados ou soprados de uso industrial; Asfaltos modificados por polímero – AMP; Asfaltos modificados por borracha de pneus – AMB; Agentes rejuvenescedores – AR e ARE.

Dos tipos elencados, são empregados nesta pesquisa o CAP, o asfalto modificado, o asfalto diluído e a emulsão asfáltica.

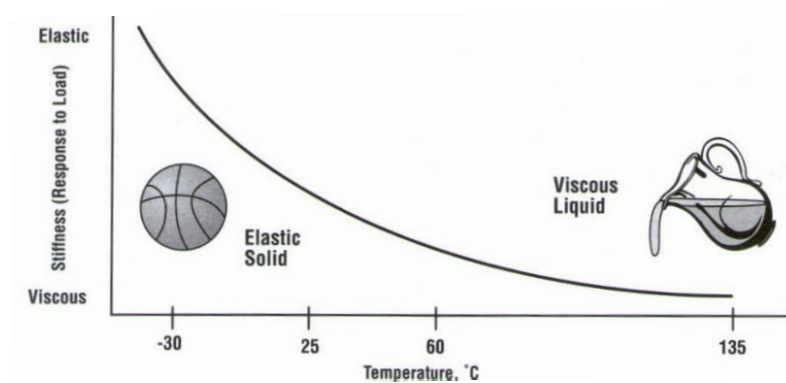
#### **2.4.1 Propriedades físicas dos asfaltos**

As propriedades físicas do asfalto são: penetração, viscosidade, ponto de amolecimento, ductilidade, solubilidade, durabilidade, ponto de fulgor, espuma, massa específica e densidade relativa, ponto de ruptura Fraass e suscetibilidade térmica. Todas estas propriedades físicas do asfalto estão associadas à sua temperatura, segundo Bernucci *et. al.* (2008), conforme segue:

- A penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, de uma agulha de massa padronizada penetra numa amostra de volume padrão por 5 segundos a 25°C;
- A viscosidade é a medida de consistência do cimento asfáltico, por resistência ao escoamento;
- O ponto de amolecimento é uma medida empírica que correlaciona a temperatura na qual o asfalto amolece quando aquecido e atinge determinada condição de escoamento;
- A coesão é avaliada através da ductilidade que é capacidade do material de se alongar na forma de um filamento;
- A solubilidade mede a quantidade de betume presente no asfalto. A durabilidade avalia o envelhecimento a longo prazo do ligante;
- O ponto de fulgor representa a menor temperatura na qual os vapores liberados durante o aquecimento se inflamam em contato com uma chama. A avaliação de espuma é feita qualitativamente. O asfalto não deve espumar a 175°C sob o risco de explosões;
- O ponto de ruptura Fraass determina a temperatura que leva o ligante a uma rigidez crítica que resulta em trincamento;

- A suscetibilidade térmica aponta para a sensibilidade da consistência dos ligantes à variação de temperatura.

Em temperaturas muito baixas os asfaltos se apresentam em estado semissólido, ou seja, com viscosidade muito elevada. A temperatura ambiente o asfalto se apresenta em estado viscoelástico. Com o aumento da temperatura ocorre uma baixa na viscosidade e o ligante se comporta como um líquido. Este comportamento frente as diferentes temperaturas pode ser observa na Figura 19.



**Figura 19 – Comportamento do asfalto em diferentes temperaturas (ASPHALT INSTITUTE, 2000).**

A transição entre o estado sólido e líquido é influenciada pela proporção dos componentes do ligante asfáltico. Por este motivo é dito um material termoviscoelástico (BERNUCCI *et. al.*, 2008).

#### 2.4.2 CAP

O cimento asfáltico de petróleo é a base de todos os tipos de asfaltos, sendo constituído de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais unidos por ligações covalentes. Sua composição química é complexa e influencia no desempenho físico e mecânicos das misturas (BERNUCCI *et. al.*, 2008).

Segundo Souza (1980), é o material ideal para a aplicação em pavimentação, pois além de aglutinantes e impermeabilizantes, possuem características de flexibilidade, durabilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis.

Apesar de apresentar algumas limitações de desempenho, seu uso em revestimentos asfálticos permite a construção de pavimentos flexíveis e de durabilidade considerada razoável (GRECA, 2015).

A especificação do CAP empregado nesta pesquisa é o designado 50-70, baseada na penetração e nos demais ensaios citados para os materiais asfálticos. Suas especificações, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo – ANP (2005), são apontadas Figura 20.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	MÉTODO		ESPECIFICAÇÃO			
		ABNT	ASTM	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	NBR-6576	D 5	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	NBR-6560	D 36	52	46	43	37
Viscosidade Saybolt Furoil	SSF	NBR-14950	E 102				
a 135°C, mín.				192	141	110	80
a 150°C, mín.				90	50	43	36
a 177°C				40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60
ou	cP	NBR-15184	D 4402				
Viscosidade Brookfield:							
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.				374	274	214	155
a 150°C, SP 21, mín.				203	112	97	81
a 177°C, SP 21				76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114
Índice de Susceptibilidade Térmica (1)				(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)
Ponto de Fulgor, mín.	°C	NBR-11341	D 92	235	235	235	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín.	% massa	NBR-14855	D 2042	99,5	99,5	99,5	99,5
Ductilidade a 25°C, mín.	cm	NBR-6293	D 113	60	60	100	100
Efeito do Calor e do Ar (RTFOT) a 163°C, 85 minutos:		NBR-15235	D 2872				
Variação em Massa, máx. (2)	%	NBR-15235	D 2872	0,5	0,5	0,5	0,5
Ductilidade a 25°C, mín.		NBR-6293	D 113	10	20	50	50
Aumento do Ponto de Amolecimento, máx.	°C	NBR-6560	D 36	8	8	8	8
Penetração retida, mín. (3)	%	NBR-6576	D 5	60	55	55	50

**Figura 20 – Especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo – CAP (ANP, 2005 *apud* GRECA, 2015).**

### 2.4.3 Asfalto modificado por polímero

Sob determinadas circunstâncias de tráfego pesado ou variação térmica, por exemplo, quando o CAP não atende aos requisitos necessários de desempenho, cada vez mais o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos tem sido empregado.

Também, a maior parte dos serviços de pavimentação atualmente são para recuperação e reforço de pavimentos degradados, havendo uma maior preocupação com a qualidade e segurança das vias, os modificadores passam a ter um papel importante em novas concepções de pavimentos.

Nem todos os polímeros são passíveis de serem adicionais ao CAP e, falando em termos de cadeias poliméricas, o asfaltos que melhor compatibilizam com os polímeros são aqueles que possuem alguma aromaticidade.

A quantidade de polímero a ser adicionada também deve variar de acordo com as propriedades finais desejadas, levando em consideração seu custo.

Um dos asfaltos empregados nesta pesquisa é o modificado por polímeros elastômeros, que segundo Bernucci *et. al.* (2008), proporciona melhoria nos aspectos de deformações permanentes, trincas térmicas, trincas por fadiga e envelhecimento do CAP.

A especificação do asfalto modificado empregado nesta pesquisa é o designado 60-85, baseada no ponto de amolecimento mínimo e na recuperação elástica. Suas especificações, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo – ANP (2005), são apontadas Figura 21.

GRAU (ponto de amolecimento min. / Recuperação Elástica min.)		FLEXPAVE		
		55/75	60/85	65/90
ENSAIOS NA AMOSTRA VIRGEM:	MÉTODO ABNT	LIMITE DE ESPECIFICAÇÃO		
Penetração 25°C, 5s, 100g, dmm	NBR-6576	45 a 70	40 a 70	40 a 70
Ponto de Amolecimento mín., °C	NBR-6560	55	60	65
Ponto de Fulgor, mín.	NBR-11341	235	235	235
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 rpm, máx., cP	NBR-15184	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 rpm, máx., cP	NBR-15184	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 rpm, máx., cP	NBR-15184	1000	1000	1000
Ensaio de Separação de Fase, máx., °C	NBR-15166	5	5	5
Recuperação Elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR-15086	75	85	90
<b>ENSAIO NO RESÍDUO DO RTFOT</b>				
Variação de massa, máx., %	NBR-15235	1	1	1
Variação do PA, °C máx.	NBR-6560	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Porcentagem de Penetração Original, mín.	NBR-6576	60	60	60
Porcentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín.	NBR-15086	80	80	80

**Figura 21 – Especificação brasileira de asfalto modificado por polímero (ANP, 2005 *apud*. GRECA, 2015).**

#### 2.4.4 Emulsão Asfáltica

Chama-se emulsão à mistura de dois constituintes não miscíveis entre si que, entretanto, constituem fases separadas. A fase dispersante ou fase contínua é normalmente um líquido, enquanto a fase dispersa ou descontínua pode ser constituída por um líquido viscoso, um sólido ou um semi-sólido, como, por exemplo, um asfalto ou alcatrão (SENÇO, 1997).

Segundo Souza (1980), as emulsões asfálticas são suspensões, relativamente estáveis, de materiais asfálticos finamente divididos em pequenos glóbulos, numa fase contínua, constituída pela água.

Em termos práticos as emulsões vieram atender à expectativa de dissolver os asfaltos com água em um processo a frio, ou seja, obter viscosidades baixas do asfalto sem que seja necessário o seu aquecimento.

É possível proceder com o emulsionamento através da adição de água na proporção típica de 60% óleo e 40% água.

Na emulsão óleo-água os dois materiais não formam uma emulsão por simples mistura dos dois componentes, sendo necessária a utilização de um produto para auxiliar a manter a emulsão estável. E, ainda, antes do processo o asfalto necessita ser preparado por ação mecanizada que o transforme em pequenas partículas ou glóbulos.

Segundo Bernucci *et. al.* (2008), o agente emulsionante ou emulsificante proporciona a redução da tensão superficial e permite que os glóbulos de asfalto fiquem em suspensão na água por um determinado tempo, sem que haja a aproximação das partículas e posterior coalescência (junção das partes que se encontravam separadas). Este efeito pode durar de semanas até meses, dependendo da mistura.

##### 2.4.4.1 Propriedades

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo – IBP (1990), são propriedades das emulsões asfálticas: as óticas, de decantação, viscosidade e ruptura.

A emulsão observada em microscópio com um aumento de 900 a 1500 vezes se apresenta sob a forma de partículas esféricas.

Quando o material é armazenado e não recebe agitação, ao fim de um período determinado período, suas fases tendem a se separar progressivamente por sedimentação ou afloramento, conforme a densidade do asfalto. Entretanto, a simples agitação faz com que retorne a sua homogeneidade.

A viscosidade é um parâmetro importante e de difícil determinação, pois é um produto de fases heterogêneas. Depende da concentração da emulsão, viscosidade da fase dispersante, sal nos asfaltos e suscetibilidade à temperatura.

A ruptura se caracteriza pela separação das duas fases da emulsão, podendo ser intrínseca e na presença de uma agregado.

A ruptura intrínseca pode ocorrer devido a diferentes fatores que vão desde um emulsificante de má qualidade, ou uma quantidade insuficiente de emulsificante, uma decantação prolongada, uma centrifugação prolongada, evaporação parcial da água de dispersão, adição de algum produto químico ou mistura de uma emulsão catiônica com uma aniônica.

A ruptura em presença de uma agregado acontece de uma forma mais ou menos completa e pode levar um tempo maior ou menor para se dar por adsorção das partículas de asfalto. É essencialmente um fenômeno de coalescência que acontece na interface emulsão/agregado.

Segundo Bernucci *et. al.* (2008), quando a emulsão entra em contato com o agregado pétreo inicia-se o processo de ruptura da emulsão que é a separação do CAP e da água, o que permite o recobrimento do agregado por uma película de asfalto. Então a água é liberada e evapora. A velocidade da ruptura é função da composição química do agente emulsificante e da sua dosagem na emulsão.

Segundo Greca (2015), as emulsões asfálticas quando rompem sofrem uma neutralização das cargas elétricas ao entrar em contato com a superfície do agregado. Este processo de ruptura ocorre imediatamente com o contato no agregado, sendo concluído poucos minutos após a sua aplicação, no caso da emulsão RR-1C.

Ainda, há uma diferenciação da ruptura e do processo de cura da emulsão asfáltica. Na cura ocorre uma evaporação total da água que está presente na emulsão e o resultado é um filme de CAP cobrindo a superfície em que foi aplicada a emulsão. O processo de cura é influenciado pelas condições climáticas adversas como umidade relativa, baixa temperatura e chuva eminente, que comprometem os serviços executados com o uso deste material.

De acordo com o IBP (1990), os fatores que aceleram a ruptura são o emprego de um asfalto de baixa viscosidade, concentração elevada de asfalto, pequena quantidade de emulsivo, emulsivo catiônico, material reativo, alta superfície específica, temperatura elevada da emulsão e dos agregados e agitação intensa da mistura emulsão mais agregado.

Os fatores que retardam a ruptura são emprego de um asfalto de alta viscosidade, pequena concentração de asfalto, elevada quantidade de emulsivo, emulsivo aniônico, material pouco reativo, baixa superfície específica, temperatura baixa da emulsão e dos agregados e ausência ou pequena agitação da mistura emulsão mais agregado.

#### 2.4.4.2 Tipos

As emulsões podem ser do tipo catiônica, quando o sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa (direta), ou de uma fase aquosa em uma fase asfáltica (inversa), apresenta partículas eletrizadas carregadas positivamente (IBP, 1990).

As emulsões asfálticas normalmente utilizadas em pavimentação são do tipo catiônica diretas e podem ser empregadas em serviços de pintura de ligação, tratamentos superficiais, macadame betuminoso, pré-misturado a frio, areia-asfalto a frio, solo betume e lama asfáltica.

As emulsões asfálticas são classificadas de acordo com a sua ruptura, viscosidade Saybolt Furol, teor de solvente, desemulsificante, resíduo de destilação e quanto à utilização, em sete tipos:

- RR-1C;
- RR-2C;
- RM-1C;
- RM-2C;
- RL-1C;
- LA-1C;
- LA-2C.



A emulsão do tipo RR-1C, empregada na pesquisa, é designada como emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, que se caracteriza pelo teor de resíduo asfáltico no mínimo 62% e viscosidade a 50°C entre 20 e 90s (considerada baixa) e desemulsibilidade superior a 50%.

As letras RR se referem ao tempo de ruptura, neste caso “ruptura rápida”. A número designa o teor de resíduo de asfalto, sendo 1 para 62% e 2 para 67%. A letra C significa que é do tipo catiônica.

A emulsões asfálticas ditas aniônicas são aquelas carregadas com partículas eletrizadas negativamente.

#### **2.4.5 Asfalto diluído**

Os asfaltos diluídos são uma opção às emulsões, tendo em vista o emprego do asfalto sem que seja necessário seu aquecimento.

Segundo Senço (1997), são asfaltos que resultam da diluição de cimento asfáltico de petróleo por destilados leves de petróleo, em frações que se aproximam da nafta, querosene e do diesel, com o objetivo de reduzir temporariamente sua viscosidade, facilitando a aplicação e exigindo baixas temperaturas de aplicação.

São produzidos de acordo com o tempo necessário para a perda do componente volátil de diluição, restando somente o asfalto residual após aplicação.

Comercialmente é possível encontrar, designado como tintas asfálticas, o produto diluído em aguarrás com uso comum em impermeabilizações de alicerces e alvenarias.

O tipo selecionado para os testes nesta pesquisa possui densidade de 0,9g/cm<sup>3</sup>, viscosidade menor que 80s e encontra-se em temperatura ambiente em estado líquido. O rendimento indicado deste produto para duas demão é de 500ml/m<sup>2</sup> (VEDACIT, 2015).

Especifica-se a aplicação do produto diretamente, sem nenhum tipo de preparo prévio, sobre superfícies secas, ásperas e sem ondulações. Somente é recomendado proceder com uma mistura para homogeneização antes da aplicação.

O tempo de secagem leva entre 8 minutos até 12 horas.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente capítulo descreve os materiais, os métodos e o equipamento empregados no desenvolvimento da pesquisa.

No total foram preparados e testados setenta corpos de prova de geotêxteis não tecidos impregnados com asfalto, para obtenção dos valores de permissividade, permeabilidade e taxa de retenção de asfalto. Cada corpo de prova foi caracterizado antes e após a aplicação dos materiais asfálticos.

A aplicação do asfalto nos corpos de prova foi realizada através de técnicas diferenciadas, para possibilitar uma ponderação de métodos construtivos versus resultados esperados. Foram selecionados quatro tipos de asfaltos: emulsão asfáltica, cimento asfáltico de petróleo, asfalto modificado por polímero e tinta asfáltica.

No que diz respeito ao equipamento construído e utilizado na pesquisa, este foi idealizado para uma carga hidráulica superior a comumente utilizada nos ensaios de permeabilidade. Deste modo, torna-se possível conjecturar o comportamento da manta impregnada como barreira impermeabilizante em aterros constituído por solos permeáveis destinados a retenção de água.

#### **3.1 GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS**

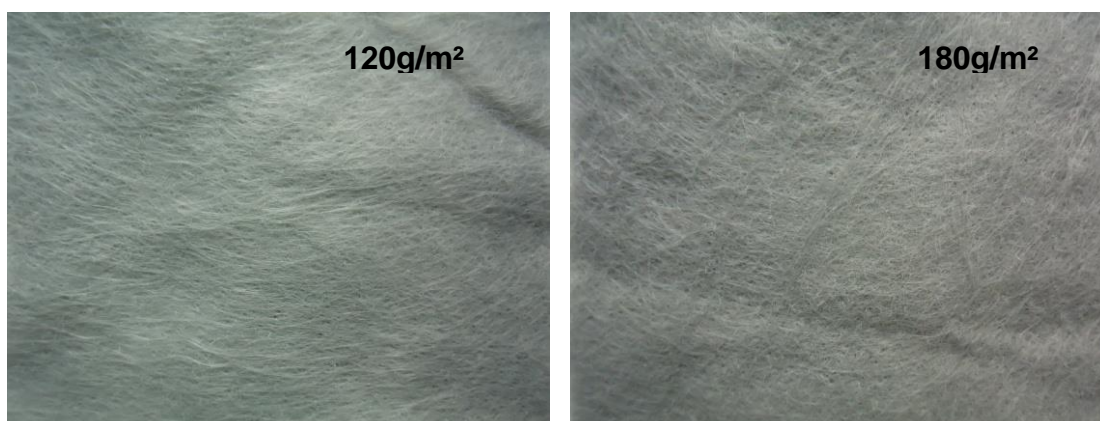
Dois tipos diferentes de geotêxteis não tecidos foram adotados na pesquisa. Apesar de ambos serem fabricados com o mesmo polímero, o poliéster (PET), suas gramaturas são de 120g/m<sup>2</sup> e 180g/m<sup>2</sup>.

O geotêxtil não tecido de 120g/m<sup>2</sup> foi adotado como padrão na pesquisa por ser um tipo difundido e consagrado no mercado, bem como corriqueiramente utilizado em obras de engenharia geotécnica. Já a manta com gramatura superior (180g/m<sup>2</sup>) foi selecionada para efeito de comparação dos resultados, na análise paramétrica realizada nesta pesquisa.

O material apresenta baixo custo no mercado e versatilidade na utilização, conforme já explicitado na revisão bibliográfica.

A Figura 22 ilustra as mantas selecionadas e empregadas para a pesquisa. Os produtos possuem aspecto semelhante, podendo ser apontado somente uma

variação na coloração. A manta de gramatura superior possui coloração também acinzentada, porém mais escurecida.



**Figura 22 - Geotêxteis não tecidos de poliéster utilizados na pesquisa.**

As principais propriedades, relevantes para a pesquisa, especificadas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9 - Propriedades relevantes dos geotêxteis não tecidos utilizados na pesquisa fornecidas pelo fabricante.**

PROPRIEDADE	NORMA	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO	
		120 g/m <sup>2</sup>	180 g/m <sup>2</sup>
Permissividade	ASTM D 4491	2,5s <sup>-1</sup>	2,0s <sup>-1</sup>
Fluxo de água	ASTM D 4491	7450l/min/m <sup>2</sup>	5820l/min/m <sup>2</sup>
Permeabilidade normal	ABNT NBR ISO 11058	0,40cm/s	0,39cm/s
Ponto de fusão	-	260°C	260°C

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS

Para a caracterização dos geotêxteis não tecidos, foram determinadas em laboratório suas propriedades físicas de espessura nominal e gramatura, de acordo com as normas ABNT NBR ISO 9863-1:2013 e ABNT NBR ISO 9862:2013, respectivamente.

Os setenta corpos de prova com dimensões de 10cmx10cm, totalizando a área de 100cm<sup>2</sup> cada, foram retirados aleatoriamente das peças de geotêxtil e pesados em balança digital com precisão de 0,01g, conforme Figura 23. Suas

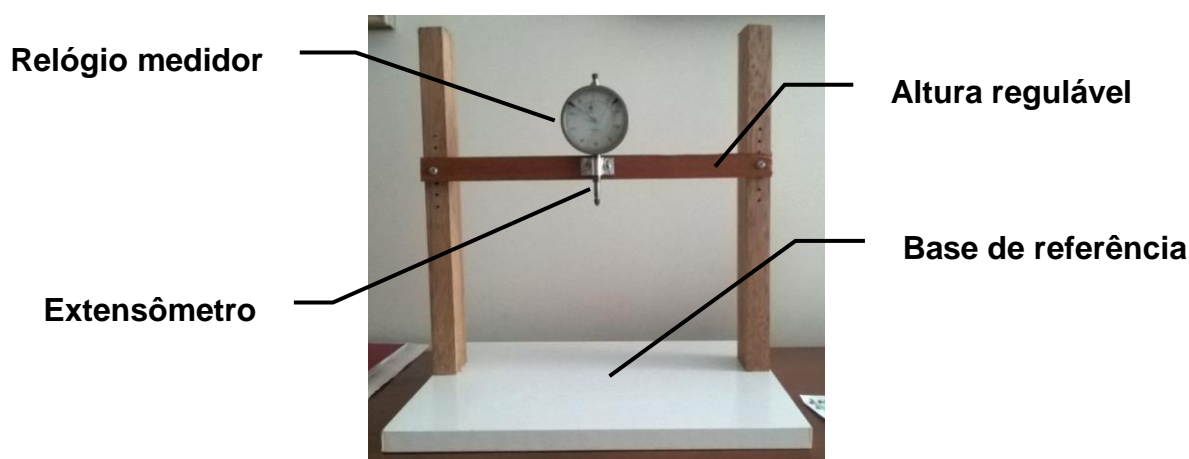
gramaturas foram determinadas a partir da relação peso por área, conforme preconizado pela norma.



**Figura 23 - Determinação do peso dos corpos de prova.**

Para a determinação das espessuras nominais, para todos os setenta corpos de prova foi utilizado extensômetro de precisão 0,01mm. O procedimento consistiu inicialmente em determinar a distância perpendicular entre uma superfície de referência e a superfície de um peso equivalente de 2kPa. O peso padrão tem formato cilíndrico e área de contato inferior à do corpo de prova. Em seguida, o corpo de prova é acomodado entre a superfície de referência e o peso padrão. A diferença medida, antes e após a disposição do corpo de prova, através da leitura no extensômetro, indica a espessura nominal da amostra.

O extensômetro utilizado na pesquisa, acoplado a um dispositivo com uma base de referência, é ilustrado na Figura 24. A distância entre o extensômetro e a base de referência permite ser ajustada em função da altura do peso padrão.



**Figura 24 – Dispositivo para determinação da espessura nominal dos corpos de prova.**

### 3.3 EMULSÃO ASFÁLTICA

Conforme já mencionado na revisão bibliográfica, as emulsões asfálticas são uma dispersão coloidal de asfalto e fase aquosa, constituídas por água, cimento asfáltico, agente emulsificante e solvente.

A emulsão asfáltica selecionada e empregada na pesquisa, como um dos materiais para impregnação dos geotêxteis, é denominada RR-1C. Esta emulsão é do tipo catiônica de ruptura rápida. Seu aspecto, após realizado procedimento de mistura para evitar segregação, pode ser conferido na Figura 25. É importante ressaltar a coloração marrom, indicativa de que a ruptura da emulsão não ocorreu. Após a ruptura, o produto apresenta coloração escurecida de tonalidade preta.



Figura 25 - Emulsão asfáltica RR-1C utilizada na pesquisa.

De acordo com as especificações do fabricante, os resultados obtidos dos ensaios sobre a emulsão apresenta teor de resíduo asfáltico mínimo de 62%, viscosidade *Saybolt Furol* a 50°C entre 20s e 90s, desemulsibilidade não inferior a 50% e carga da partícula positiva. Dos ensaios sobre o resíduo, os resultados indicam possuir 97% de teor de betume.

A emulsão asfáltica foi selecionada como padrão na pesquisa. É um material frequentemente utilizado na recuperação de pavimentos rodoviários associado ao geotêxtil, sua aplicação pode ser realizada a temperatura ambiente, sem a necessidade de aquecimento e controle de temperatura, seu armazenamento requer instalações simplificadas e não agride o meio ambiente, por não gerar gases tóxicos ou poluentes.

### **3.4 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO - CAP**

O cimento asfáltico de petróleo é o produto mais utilizado na pavimentação de vias urbanas e rodoviárias, na manutenção e recuperação de pavimentos e também como base para a aplicação de massas asfálticas executadas com asfaltos modificados. Pode ser utilizado na confecção de misturas asfálticas tipo CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente ou a frio) e PMQ (pré-misturado a quente). Em termos de pavimentação sua durabilidade é considerada razoável e com desempenho limitado.

A especificação deste produto se baseia no valor obtido do ensaio de penetração. O tipo adotado nesta pesquisa foi o 50/70, ou seja, penetração de 50 a 70. A temperatura mínima do ponto de amolecimento é de 46°C e o ponto de fulgor mínimo é de 235°C, segundo informações do fabricante.

Por ser um produto comum em pavimentação o CAP foi selecionado para impregnação dos geotêxteis, alternativamente a emulsão asfáltica. Deste modo, permitiu uma comparação paramétrica e uma avaliação das implicações quanto ao método de aplicação, pois deve ser aquecido para se tornar trabalhável.

### **3.5 ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO**

Comparativamente, foi utilizado o asfalto modificado por polímero elastomérico grau 60/85, ou seja, ponto de amolecimento mínimo 60°C e recuperação elástica mínima 85%, segundo suas especificações fornecidas pelo fabricante.

Em pavimentação o modificador elastomérico fornece benefícios quanto a deformação permanente, trincas térmicas, trincas de fadiga e envelhecimento, conforme citado anteriormente com capítulo de revisão bibliográfica.

Os asfaltos modificados tem sido cada vez mais empregados em pavimentação em situações especiais como aeroportos, vias exclusivas, onde houver tráfego pesado ou regiões de variação térmica.

É um produto derivado do CAP, portanto um ligante betuminoso semissólido, melhorado e cada vez mais presente em pavimentação. Dado o seu desempenho superior ao CAP, principalmente em termos de flexibilidade, foi selecionado para os testes nesta pesquisa.

### 3.6 TINTA ASFÁLTICA

A tinta asfáltica utilizada na pesquisa é um produto comumente empregado na construção civil contra a umidade e águas agressivas. Formando uma película impermeável e aderente pode ser aplicada sobre os mais diversos materiais como o concreto, alvenarias, metais e madeira.

Na presente pesquisa, a tinta asfáltica foi selecionada para impregnação do geotêxtil não tecido, como um produto diferenciado dos demais utilizados na pavimentação.

O produto possui as características de um líquido viscoso, cor preta e é inflamável, pois a composição básica é asfalto e aguarrás.

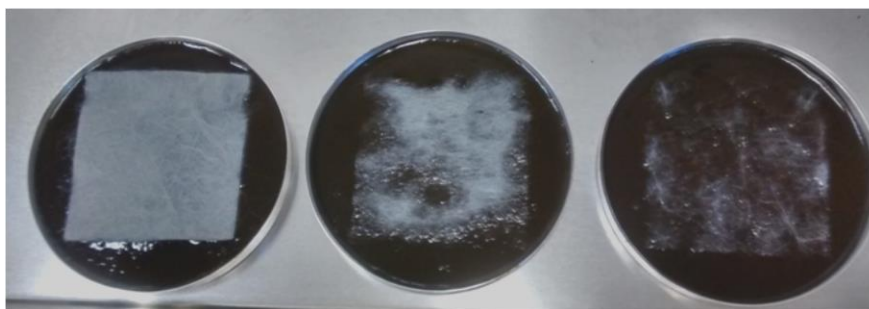
O fabricante da marca especifica a densidade de  $0,9\text{g/cm}^3$ . Porém, esta foi confirmada em laboratório, conforme Figura 26, em que 100ml do produto pesam 91,40g.



Figura 26 - Aspecto e medida da densidade da tinta asfáltica.

### 3.7 PROCEDIMENTOS DE IMPREGNAÇÃO COM ASFALTO

Os métodos utilizados para a impregnação dos corpos de prova de geotêxteis não tecidos com asfalto foram a imersão e o espalhamento. O método imersão basicamente consistiu em despejar asfalto em um recipiente, de dimensões apropriadas, e em seguida mergulhar o corpo de prova, durante um determinado tempo. Já o método de espalhar o asfalto sobre a amostra foi efetuado com o auxílio de um rolo de pintura de dimensões 5cm de comprimento por 2cm de diâmetro. Os dois métodos são exemplificados nas Figura 27 e Figura 28.



**Figura 27 - Processo de impregnação com emulsão asfáltica pelo método de imersão.**



**Figura 28 - Processo de impregnação com emulsão asfáltica pelo método de espalhamento.**

A emulsão e a tinta asfáltica foram empregadas em ambas as metodologias na temperatura ambiente. Estes produtos não necessitam de aquecimento prévio.

De maneira padronizada, os corpos de prova foram mergulhados em 100ml de emulsão asfáltica pelo tempo total de 30 minutos e permaneceram secando durante 24 horas. Para análise paramétrica, foram preparados corpos de provas com o dobro e a metade do volume de asfalto, o dobro e a metade do tempo de imersão, duas imersões de 30 minutos cada intercaladas por meia hora e período de secagem de 48 e 72 horas. Além daqueles preparados com a tinta asfáltica, seguindo o padrão de 100ml para 30 minutos secos por 24 horas.

A aplicação por espalhamento com rolo foi executada através de 10 passadas intercaladas por duas saturações do rolo, ou seja, 5 passadas para cada saturação. O padrão estabelecido, para a análise comparativa, foi duas aplicações de 10 passadas cada, espaçadas por 2 horas, em somente uma das faces do corpos de prova, com tempo de secagem de 24 horas. As amostras comparativas receberam aplicações nas duas faces, a metade e o dobro de tempo entre aplicações de 10

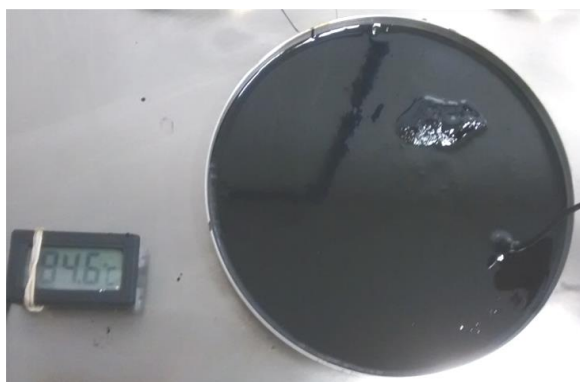


passadas, aplicação única de 10 de mãos ou 3 aplicações de 10 de mãos cada e o dobro e triplo de tempo de secagem. Neste caso os corpos de prova preparados com tinta asfáltica também seguiram o padrão de 10 passadas a cada 2 horas com secagem de 24 horas.

O CAP e o asfalto modificado por polímero foram previamente aquecidos, pois em temperatura ambiente se encontram no estado semissólido, para então serem procedidas as impregnações. Neste caso, somente foi possível realizar o método de impregnação pela imersão. Em elevadas temperaturas, da ordem de 100°C, não foi possível realizar o espalhamento. As fotos Figura 29 e Figura 30 ilustram o processo de impregnação pela imersão dos dois tipos de asfaltos aquecidos.



**Figura 29 - Processo de impregnação com CAP.**



**Figura 30 - Processo de impregnação com asfalto modificado.**

Na Figura 29, que ilustra o procedimento com o cimento asfáltico de petróleo, é possível observar que a temperatura de aplicação é de 108,8°C, ligeiramente acima dos 100°C. Já a Figura 30, seguinte, ilustra a impregnação com asfalto

modificado por polímero aquecido na temperatura de 94,6°C, ligeiramente abaixo dos 100°C.

Em ambos os casos os corpos de prova de geotêxtil permaneceram imersos somente 2 minutos, uma vez que o asfalto esfria rapidamente e a penetração do ligante é praticamente imediata.

Em todas as situações os corpos de prova impregnados foram dispostos na posição horizontal até resfriarem, no caso dos asfaltos aquecidos, ou até secar, asfaltos manipulados em temperatura ambiente, evitando deste modo uma concentração desigual de asfalto, conforme observado na Figura 31.



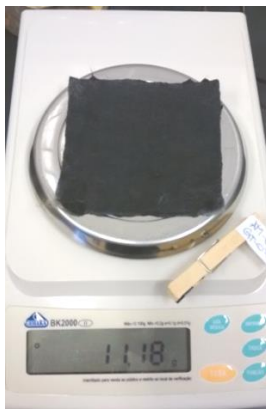
**Figura 31 - Corpos de prova dispostos na posição horizontal evitando uma concentração desigual de asfalto durante o resfriamento ou secagem.**

### **3.8 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA IMPREGNADOS**

Do mesmo modo que os geotêxteis virgens, os corpos de prova após serem impregnados com asfalto foram submetidos à determinação de suas espessuras e pesos finais. A balança utilizada para determinação dos pesos apresenta uma precisão de 0,01g. Já o extensômetro utilizado é de precisão equivalente a 0,01mm. A Figura 32 exemplifica a determinação do peso final dos corpos de prova e a Figura 33 o procedimento de medição da espessura.

Tendo em vista o comportamento visco-elástico dos asfaltos, os corpos de prova quando submetidos a pressão de 2kPa apresentam variação da espessura em função do tempo. Nas amostras impregnadas com CAP e asfalto modificado, com espessuras mais significativas, da ordem de 4mm, este comportamento fica mais evidenciado. Para estes casos, foram realizadas as anotações das espessuras ao início do ensaio e após cinco minutos, quando tende a estabilização. A espessura

adotada foi aquela resultando da média aritméticas das duas anotações. Nos geotêxteis impregnados com emulsão e tinta asfálticas, a tendência a estabilização ocorre em até um minuto, tempo estipulado na pesquisa, nestes exemplares, para a anotação da espessura final.



**Figura 32 - Determinação do peso do corpo de prova impregnado com emulsão asfáltica.**



**Figura 33 - Determinação da espessura do corpo de prova impregnado com asfalto modificado.**

Além das espessuras e pesos, faz parte da caracterização após impregnação com asfalto a determinação da taxa de impregnação ou retenção de asfalto do geotêxtil. Neste trabalho, os valores foram determinados com base na norma ASTM 6140:2014. A norma especifica a retenção de asfalto somente para o CAP, porém foi adotada a mesma premissa para o asfalto modificado, emulsão e tinta asfálticas.

Uma ressalva da norma adotada nesta pesquisa diz respeito à densidade do asfalto, caso não seja conhecida poderá ser adotada 1000g/l. Os valores das densidades dos ligantes são da ordem de 1000g/l e para uma padronização optou-se por adotar este valor, já que a norma estabelece tal.

A obtenção da taxa de impregnação foi realizada através da equação:

$$R_A = \frac{w_{sat} - w_g}{A_g * \rho} \quad (9)$$

$R_A$  – Retenção de asfalto ou taxa de impregnação (l/m<sup>2</sup>)

$w_{sat}$  – Peso do corpo de prova saturado (g)

$w_g$  – Peso do corpo de prova antes da saturação (g)

$A_g$  – Área do corpos de prova (m<sup>2</sup>)

$\rho$  – Densidade do ligante asfáltico (g/l)

### 3.9 DISPOSITIVO DE ENSAIO DE PERMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE

Tendo em vista o objetivo da pesquisa de submeter as amostras impregnadas a elevada carga hidráulica, superior àquela corriqueiramente empregada em ensaios de permeabilidade e permissividade de geotêxteis, foi construído um dispositivo para os testes realizados nesta pesquisa. O sistema permite simular testes em corpos de prova com uma carga hidráulica de até 2 metros de altura.

Conforme ilustra a Figura 34, o dispositivo construído com tubo de PVC marrom possui uma válvula de controle de fluxo, um registro para esgotar a água do sistema, uma junção para acomodação do corpo de prova, tubulação acima da junção com 1,85 metros de altura e medidor de nível de água. A medição do nível de água é realizada através de uma fita métrica fixada na tubulação, que possui uma mangueira transparente interligada com o interior do tubo. O diâmetro da tubulação que abastece o sistema é de 5 centímetros e, por sua vez, a área da amostra ensaiada também possui 5 centímetros de diâmetro.

O procedimento de ensaio iniciou com o preparo e saturação dos corpos de prova. Após preparados e secos, os corpos de provas de geotêxtil mais emulsão ou tinta asfáltica passaram por um processo de saturação fora do permeâmetro, permanecendo imersos em água durante 24 horas. Os corpos de prova preparados com cimento asfáltico de petróleo e asfalto modificado, foram submetidos ao processo de saturação prévio, por imersão durante 24 horas fora do dispositivo, e posterior saturação final, no próprio sistema. A saturação final no dispositivo consistiu em instalar o corpo de prova no dispositivo, abastecer o sistema com água e permitir a passagem da água com a válvula de controle aberta durante o período de um dia.

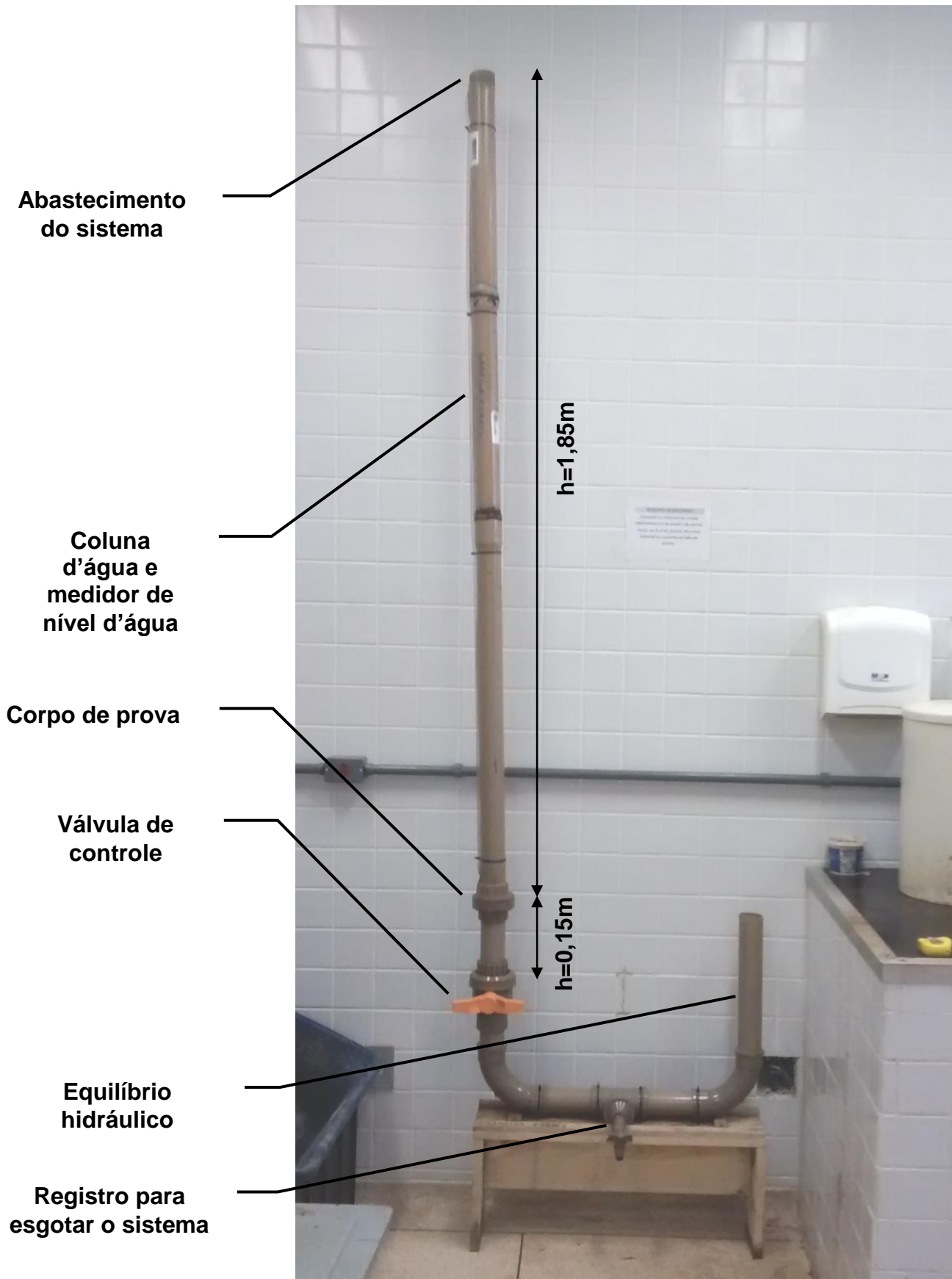
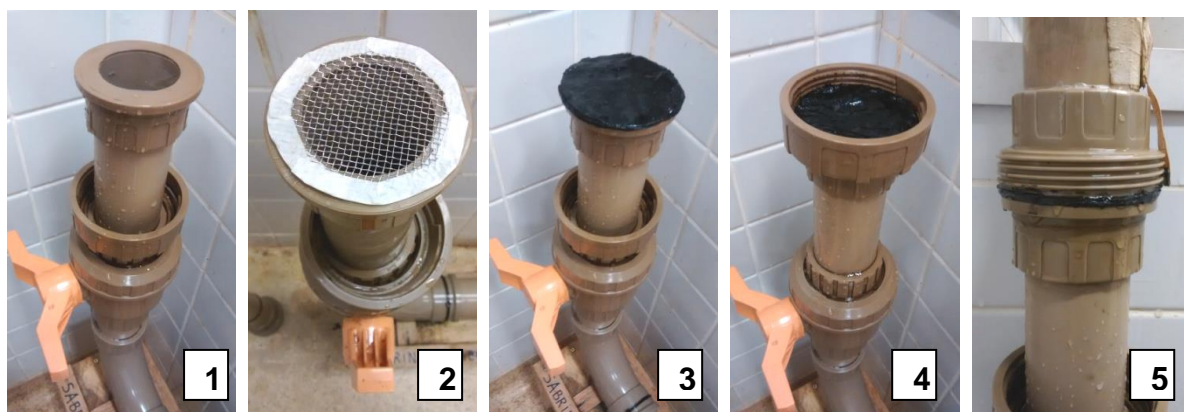


Figura 34 – Dispositivo utilizado na pesquisa para o ensaio de permissividade e determinação da permeabilidade dos geotêxteis impregnados com asfalto.

Após procedidas as saturações dos materiais, com o registro de esgotamento fechado e a válvula de controle aberta, o dispositivo é abastecido com água até a altura da válvula de controle. Neste momento, é importante proceder com seguidas aberturas e fechamentos da válvula para eliminar bolhas de ar que porventura possam se formar.

Com a válvula de controle fechada, na posição horizontal, preencher o sistema com água, conforme sequência 1 ilustrada na Figura 35, até a junção, onde a tela de suporte deve ser posicionada, sequência 2, e o corpo de prova acomodado, sequência 3, e então acoplar a tubulação. A sequência 4 ilustra a junção posicionada para possibilitar a conexão com a tubulação acima do corpo de prova, sequência 5.



**Figura 35 - Sequência de preparo do permeâmetro e instalação do corpo de prova de geotêxtil impregnado com asfalto modificado para início do ensaio.**

Com a junção conectada na tubulação que permite o abastecimento com água, dados os passos mencionados, o sistema deve ser completado com água e está pronto para o início do ensaio.

### **3.10 ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL**

O ensaio de carga variável realizado foi baseado na norma ASTM D 4491:2014, que leva em consideração, além da área do corpo de prova, diâmetro da tubulação que abastece o sistema, diferença de carga hidráulica e o tempo, a temperatura da água durante o teste.

Com o dispositivo preparado para o início do ensaio, são anotadas a temperatura da água, a altura da carga hidráulica acima do corpo de prova e o desnível do nível d'água na tubulação destinada ao equilíbrio hidráulico. Então, a válvula de controle é acionada, na posição vertical, e a contagem de tempo é iniciada, até que o desnível na tubulação destinada ao equilíbrio hidráulico seja vencido. A altura da carga hidráulica acima do corpo de prova é registrada.

De posse destes dados, é possível proceder com os cálculos de permissividade e permeabilidade dos corpos de prova ensaiados de acordo com o preconizado na norma.

A norma especifica um fator de correção da temperatura  $R_t$  dado por:

$$R_t = \frac{u_t}{u_{20_c}} \quad (10)$$

Onde,  $u_t$  é a viscosidade da água na temperatura em que o ensaio foi realizado e  $u_{20_c}$  é a viscosidade da água aos 20°C. Os valores de viscosidade da água em temperaturas acima ou abaixo dos 20°C,  $u_t$ , foram obtidos da tabela 1 da norma.

A permissividade  $\Psi$  e permeabilidade  $K_n$  foram obtidas através das equações:

$$\Psi = \left[ \left( \frac{a}{A \cdot t} \right) \cdot \ln \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \right] \cdot R_t \quad \text{e} \quad K_n = \Psi \cdot t_g \quad (11)$$

$a$  – área da tubulação que abastece o sistema (mm<sup>2</sup>)

$A$  – área do corpo de prova atravessada pela água no ensaio (mm<sup>2</sup>)

$t$  – tempo decorrido entre  $h_0$  e  $h_1$  (s)

$h_0$  – carga hidráulica inicial (mm)

$h_1$  – carga hidráulica final (mm)

$t_g$  – espessura do corpo de prova atravessada pela água (mm)

Conforme estipulado na norma, para expressar os valores de permissividade em litros por unidade de área por um metro de carga hidráulica por tempo (l/m<sup>2</sup>/m/min), os valores resultantes de  $\Psi$  devem ser multiplicados por  $6 \times 10^4$ .



### 3.11 MATRIZ DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIOS REALIZADOS

Os corpos de prova foram divididos em dois grupos diferenciados pelo método de aplicação de asfalto. No Grupo A, foi empregada a técnica de espalhamento com rolo e no Grupo B, a imersão. Para cada grupo foi estabelecida uma amostra padrão a partir da qual, variando-se somente um aspecto de impregnação, material ou de ensaio foi possível proceder com uma análise paramétrica e avaliação de aspectos práticos envolvidos no uso destes materiais.

A relação dos 33 corpos de prova preparados e ensaiados pertencentes ao Grupo A é apresentada na Tabela 10. Conforme citado anteriormente, para este grupo não foi possível proceder com impregnação utilizando CAP e asfalto modificado, devido a temperatura requerida para o preparo.

O corpo de prova padrão do Grupo A foi preparado com duas aplicações de emulsão asfáltica em somente uma das faces em geotêxtil não tecido de gramatura 120 g/m<sup>2</sup>. O intervalo entre as aplicações da emulsão foi de 2 horas. O tempo total em que o corpo de prova permaneceu secando, até o início da saturação, foi de 24 horas. No ensaio com o corpo de prova padrão não foi empregada a tela de suporte. A partir da produção do exemplar padrão, foram realizadas 10 variações no preparo dos corpos de prova deste grupo, tais como: tempo de secagem, intervalo entre aplicações, número de aplicações em uma das faces, aplicações nas duas faces, tipo de asfalto, gramatura do geotêxtil e ensaio com tela de suporte. Para todos os 11 tipos, incluindo o exemplar padrão, foram preparados 3 corpos de prova repetidos com vista a se obter um valor médio entre os resultados.

Os 37 corpos de prova pertencentes ao Grupo B estão relacionados na Tabela 11. Para este grupo foi possível proceder com a utilização do CAP e asfalto modificado. Também, foram preparados 3 repetições para cada tipo.

Para o Grupo B, o corpo de prova padrão foi preparado com 100ml emulsão asfáltica, em um único processo de imersão durante 30 minutos. O tempo que em que o corpo de prova permaneceu secando foi de 24 horas até o início da saturação. No ensaio com o corpo de prova padrão não foi utilizada a tela de suporte da amostra. Os demais tipo sofreram as seguintes variações: tempo de secagem até o início da saturação, tempo de imersão para a impregnação, volume de asfalto para a imersão, gramatura do geotêxtil, tipo de asfalto, quantidade de imersões e ensaios com o uso de tela de suporte.



Tabela 10 - Relação dos corpos de prova do Grupo A

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	TIPO DE ASFALTO	GRAMATURA (g/m <sup>2</sup> )	APLICAÇÃO 1 FACE (unid.)	APLICAÇÕES 2 FACES (unid.)	INTERVALO ENTRE APLICAÇÕES (horas)	TEMPO DE SECAGEM (horas)	ENSAIO COM TELA DE SUPORTE	QUANTIDADE CORPOS DE PROVA (unid.)
1*	Emulsão asfáltica	120	2	-	2	24	-	3**
2	Emulsão asfáltica	120	2	-	2	48	-	3
3	Emulsão asfáltica	120	2	-	2	72	-	3
4	Emulsão asfáltica	120	2	-	4	24	-	3
5	Emulsão asfáltica	120	2	-	1	24	-	3
6	Emulsão asfáltica	120	3	-	2	24	-	3
7	Emulsão asfáltica	120	1	-	-	24	-	3
8	Tinta Asfáltica	120	2	-	2	24	-	3
9	Asfalto modificado	120	2	-	2	24	-	-
10	Cimento asfáltico	120	2	-	2	24	-	-
11	Emulsão asfáltica	180	2	-	2	24	-	3
12	Emulsão asfáltica	120	2	2	2	24	-	3
13	Emulsão asfáltica	120	2	-	2	24	sim	3
TOTAL								33

(\*) Corpo de prova padrão.

(\*\*) Cada corpo de prova foi designados como A, B ou C.

Tabela 11 – Relação dos corpos de prova do Grupo B.

GRUPO B (IMERSÃO)	TIPO DE ASFALTO	GRAMATURA (g/m²)	VOLUME DE ASFALTO (ml)	1ª IMERSÃO (minutos)	2ª IMERSÃO (minutos) ***	TEMPO DE SECAGEM (horas)	ENSAIO COM TELA DE SUPORTE	QUANTIDADE CORPOS DE PROVA (unid.)
1*	Emulsão asfáltica	120	100	30	-	24	-	3**
2	Emulsão asfáltica	120	100	30	-	48	-	3
3	Emulsão asfáltica	120	100	30	-	72	-	3
4	Emulsão asfáltica	120	100	60	-	24	-	3
5	Emulsão asfáltica	120	100	15	-	24	-	3
6	Emulsão asfáltica	120	150	30	-	24	-	3
7	Emulsão asfáltica	120	200	30	-	24	-	3
8	Tinta Asfáltica	120	100	30	-	24	-	3
9	Asfalto modificado	120	100	30	-	24	sim	1
10	Cimento asfáltico	120	100	30	-	24	sim/não	3
11	Emulsão asfáltica	180	100	30	-	24	-	3
12	Emulsão asfáltica	120	100	30	30	24	-	3
13	Emulsão asfáltica	120	100	30	-	24	sim	3
TOTAL								37

(\*) Corpo de prova padrão.

(\*\*) Cada corpo de prova foi designados como A, B ou C.

(\*\*\*) Intervalo de secagem entre os dois processos de imersão de meia hora.

## 4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta todos os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa, de acordo com os métodos e materiais descritos no capítulo 3.

Os resultados são apresentados, separadamente para o Grupo A (espalhamento) e Grupo B (imersão), tabelados e plotados em gráficos de barras, para melhor visualização das informações e avaliação do comportamento dos resultados frente as variações impostas.

Além dos resultados, são apresentados os valores médios, considerados nas análises dos resultados no Capítulo 5, o desvio padrão dos valores e os coeficientes de variação.

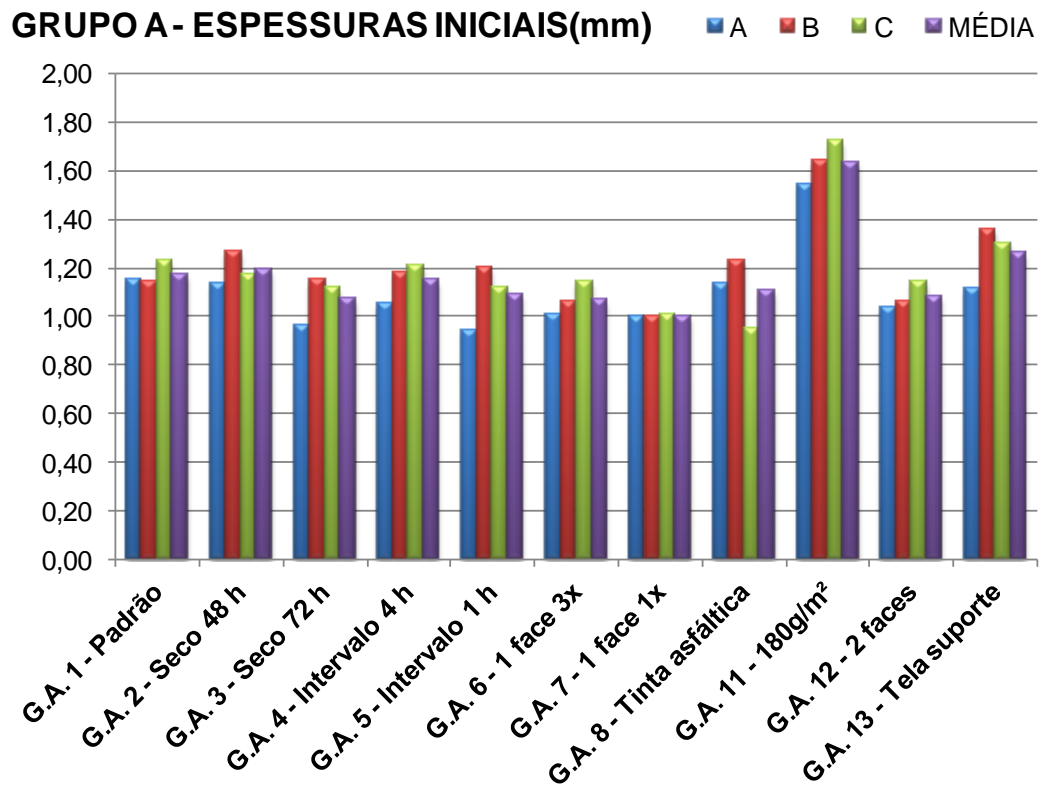
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO

No que diz respeito a caracterização dos geotêxteis não tecidos antes de serem realizados os procedimentos de impregnação, são apresentados os resultados das espessura iniciais e pesos iniciais de cada corpos de prova. De posse destes dados e conhecendo a área do corpo de prova, foi possível calcular a gramatura do geotêxtil. Estes resultados são apresentados na Tabela 12 até Tabela 17 e Gráfico 1 até Gráfico 6 a seguir.

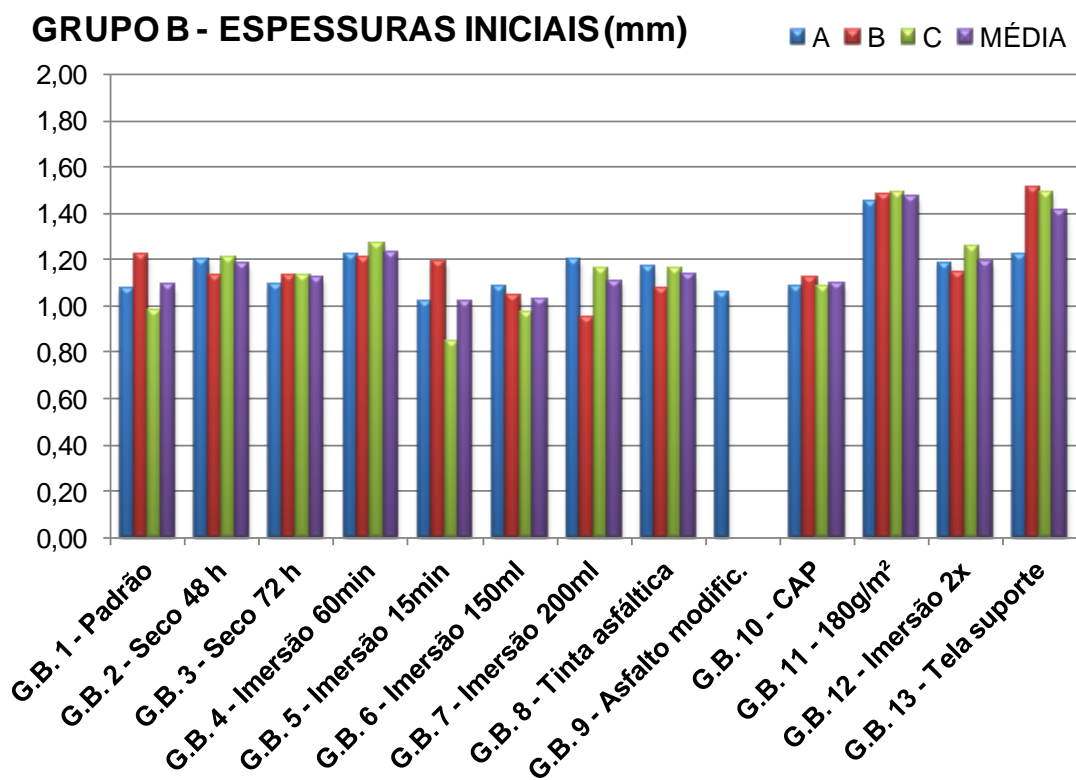
**Tabela 12 - Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	ESPESSURAS INICIAIS (mm)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,15	1,14	1,23	1,17	0,05	4
2 - Seco 48 h	1,13	1,27	1,17	1,19	0,07	6
3 - Seco 72 h	0,96	1,15	1,12	1,08	0,10	9
4 - Intervalo 4 h	1,05	1,18	1,21	1,15	0,09	7
5 - Intervalo 1 h	0,94	1,20	1,12	1,09	0,13	12
6 - 1 face 3x	1,01	1,06	1,14	1,07	0,07	6
7 - 1 face 1x	1,00	1,00	1,01	1,00	0,01	1
8 - Tinta asfáltica	1,13	1,23	0,95	1,10	0,14	13
11 - 180g/m <sup>2</sup>	1,54	1,64	1,72	1,63	0,09	6
12 - 2 faces	1,04	1,06	1,14	1,08	0,05	5
13 - Tela suporte	1,11	1,36	1,30	1,26	0,13	10

**Gráfico 1 – Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**



**Gráfico 2 – Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**



**Tabela 13 - Resultados das espessuras iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**

<b>GRUPO B (IMERSÃO)</b>	<b>ESPESSURAS INICIAIS (mm)</b>				<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>MÉDIA</b>		
1 - Padrão	1,07	1,22	0,98	1,09	0,12	11
2 – Seco 48 h	1,20	1,13	1,21	1,18	0,04	4
3 - Seco 72 h	1,09	1,13	1,13	1,12	0,02	2
4 - Imersão 60min	1,22	1,21	1,27	1,23	0,03	3
5 - Imersão 15min	1,02	1,19	0,85	1,02	0,17	17
6 - Imersão 150ml	1,08	1,04	0,97	1,03	0,06	5
7 - Imersão 200ml	1,20	0,95	1,16	1,10	0,13	12
8 - Tinta asfáltica	1,17	1,07	1,16	1,13	0,06	5
9 - Asfalto modific.	1,06	-	-	-	-	-
10 - CAP	1,08	1,12	1,08	1,09	0,02	2
11 - 180g/m²	1,45	1,48	1,49	1,47	0,02	1
12 - Imersão 2x	1,18	1,14	1,25	1,19	0,06	5
13 - Tela suporte	1,22	1,51	1,49	1,41	0,16	12

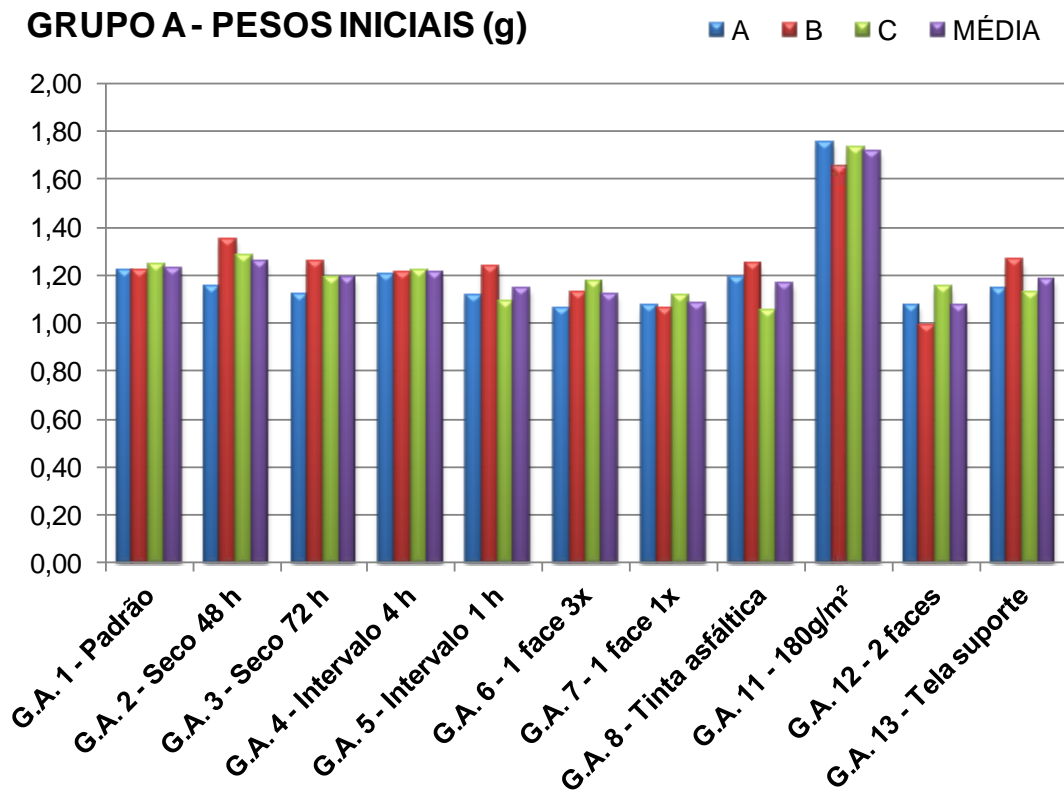
**Tabela 14 - Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**

<b>GRUPO A (ESPALHAMENTO)</b>	<b>PESOS INICIAIS (g)</b>				<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>MÉDIA</b>		
1 - Padrão	1,22	1,22	1,24	1,23	0,01	1
2 - Seco 48 h	1,15	1,35	1,28	1,26	0,10	8
3 - Seco 72 h	1,12	1,26	1,19	1,19	0,07	6
4 - Intervalo 4 h	1,20	1,21	1,22	1,21	0,01	1
5 - Intervalo 1 h	1,11	1,23	1,09	1,14	0,08	7
6 - 1 face 3x	1,06	1,13	1,17	1,12	0,06	5
7 - 1 face 1x	1,07	1,06	1,11	1,08	0,03	2
8 - Tinta asfáltica	1,19	1,25	1,05	1,16	0,10	9
11 - 180g/m²	1,75	1,65	1,73	1,71	0,05	3
12 - 2 faces	1,07	0,99	1,15	1,07	0,08	7
13 - Tela suporte	1,14	1,26	1,13	1,18	0,07	6

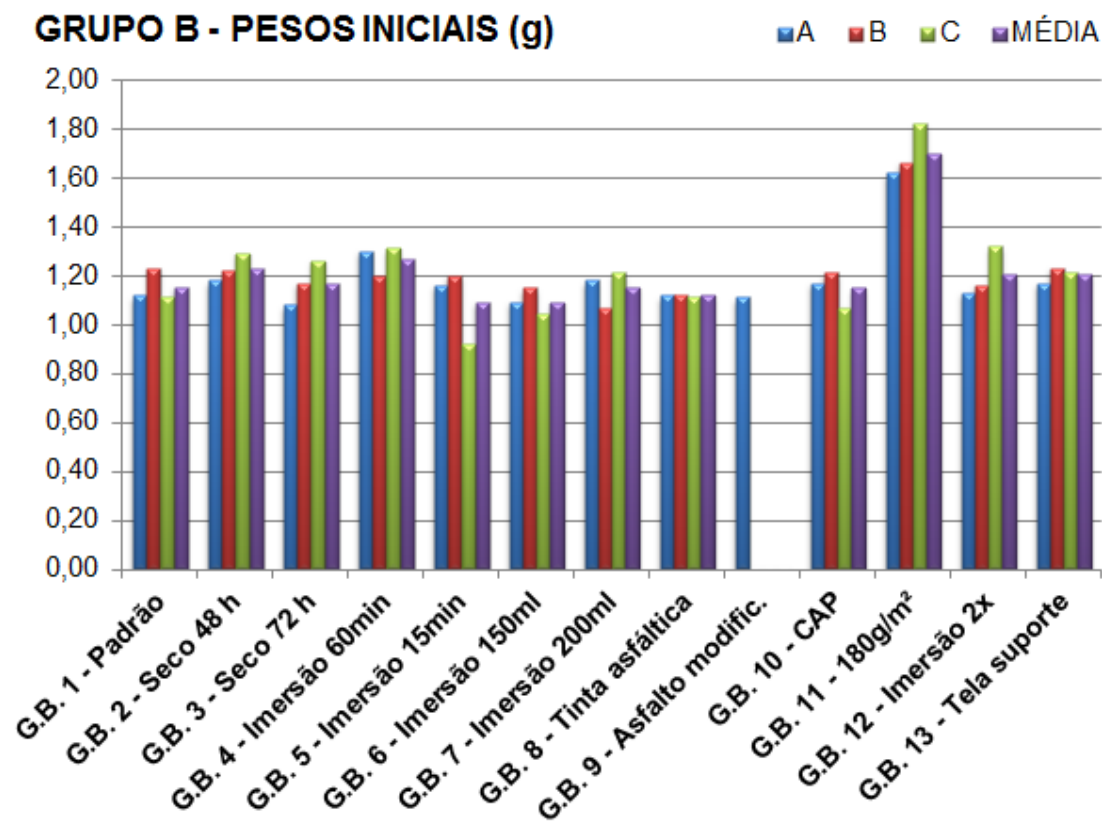
**Tabela 15 - Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**

<b>GRUPO B (IMERSÃO)</b>	<b>PESOS INICIAIS (g)</b>				<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>MÉDIA</b>		
1 - Padrão	1,12	1,23	1,11	1,15	0,07	6
2 – Seco 48 h	1,18	1,22	1,29	1,23	0,06	5
3 - Seco 72 h	1,08	1,17	1,26	1,17	0,09	8
4 - Imersão 60min	1,30	1,20	1,31	1,27	0,06	5
5 - Imersão 15min	1,16	1,20	0,92	1,09	0,15	14
6 - Imersão 150ml	1,09	1,15	1,04	1,09	0,06	5
7 - Imersão 200ml	1,18	1,07	1,21	1,15	0,07	6
8 - Tinta asfáltica	1,12	1,12	1,11	1,12	0,01	1
9 - Asfalto modific.	1,11	-	-	-	-	-
10 - CAP	1,17	1,21	1,07	1,15	0,07	6
11 - 180g/m²	1,62	1,66	1,82	1,70	0,11	6
12 - Imersão 2x	1,13	1,16	1,32	1,20	0,10	8
13 - Tela suporte	14,44	17,17	15,62	15,74	1,37	9

**Gráfico 3 – Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**



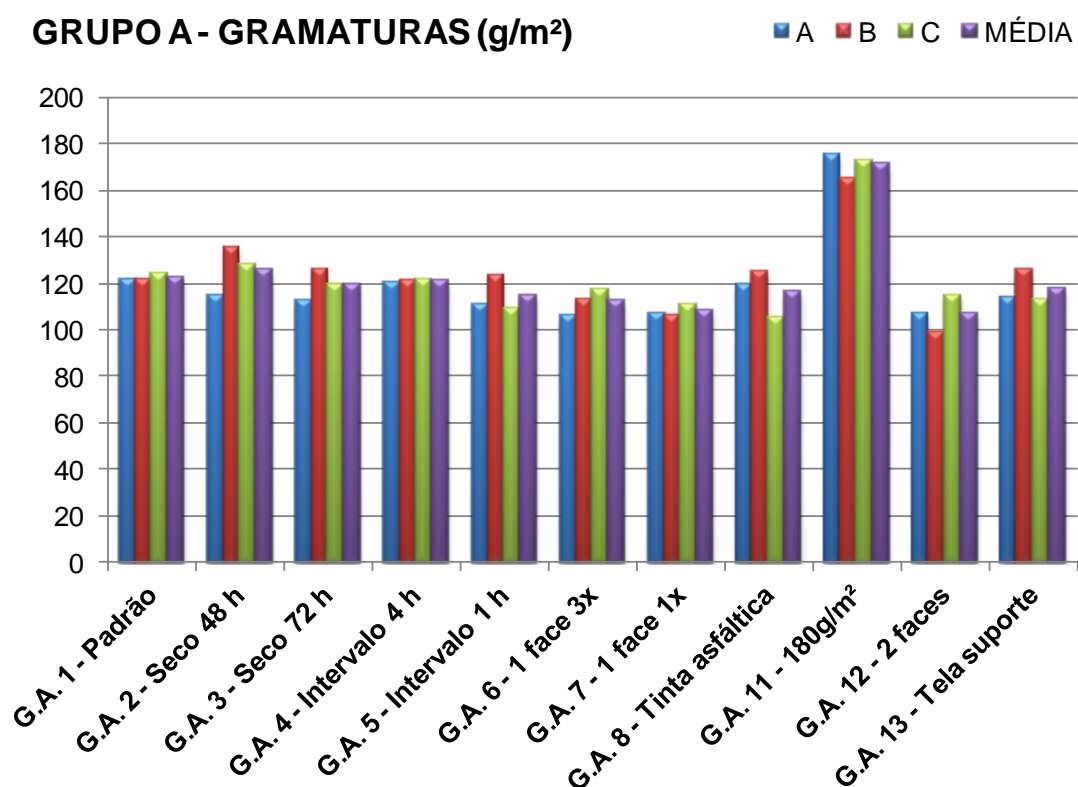
**Gráfico 4 – Resultados dos pesos iniciais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**



**Tabela 16 - Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	GRAMATURAS (g/m <sup>2</sup> )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	122	122	124	123	1,2	1
2 - Seco 48 h	115	135	128	126	10,1	8
3 - Seco 72 h	112	126	119	119	7,0	6
4 - Intervalo 4 h	120	121	122	121	1,0	1
5 - Intervalo 1 h	111	123	109	114	7,6	7
6 - 1 face 3x	106	113	117	112	5,6	5
7 - 1 face 1x	107	106	111	108	2,6	2
8 - Tinta asfáltica	119	125	105	116	10,3	9
11 - 180g/m <sup>2</sup>	175	165	173	171	5,3	3
12 - 2 faces	107	99	115	107	8,0	7
13 - Tela suporte	114	126	113	118	7,2	6

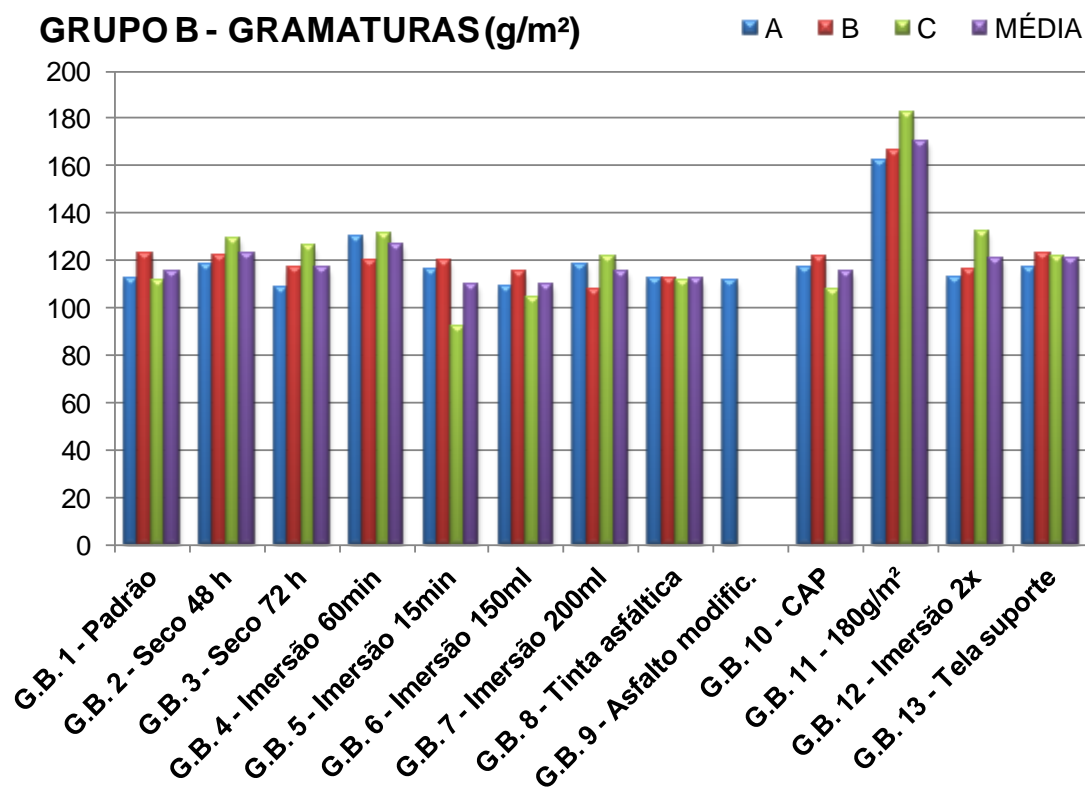
**Gráfico 5 – Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**



**Tabela 17 - Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	GRAMATURAS (g/m <sup>2</sup> )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	112	123	111	115	7	6
2 - Seco 48 h	118	122	129	123	6	5
3 - Seco 72 h	108	117	126	117	9	8
4 - Imersão 60min	130	120	131	127	6	5
5 - Imersão 15min	116	120	92	109	15	14
6 - Imersão 150ml	109	115	104	109	6	5
7 - Imersão 200ml	118	107	121	115	7	6
8 - Tinta asfáltica	112	112	111	112	1	1
9 - Asfalto modific.	111	-	-	-	-	-
10 - CAP	117	121	107	115	7	6
11 - 180g/m <sup>2</sup>	162	166	182	170	11	6
12 - Imersão 2x	113	116	132	120	10	8
13 - Tela suporte	117	123	121	120	3	3

**Gráfico 6 – Resultados das gramaturas dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, antes do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**





## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO

Fazem parte da caracterização do geotêxtil após ser impregnado com asfalto os resultados das espessuras finais, os pesos finais e a taxa de impregnação, calculada a partir das informações de pesos iniciais e finais e densidade do asfalto. Estes resultados são apresentados na Tabela 18 até Tabela 23 e Gráfico 7 até Gráfico 12 a seguir.

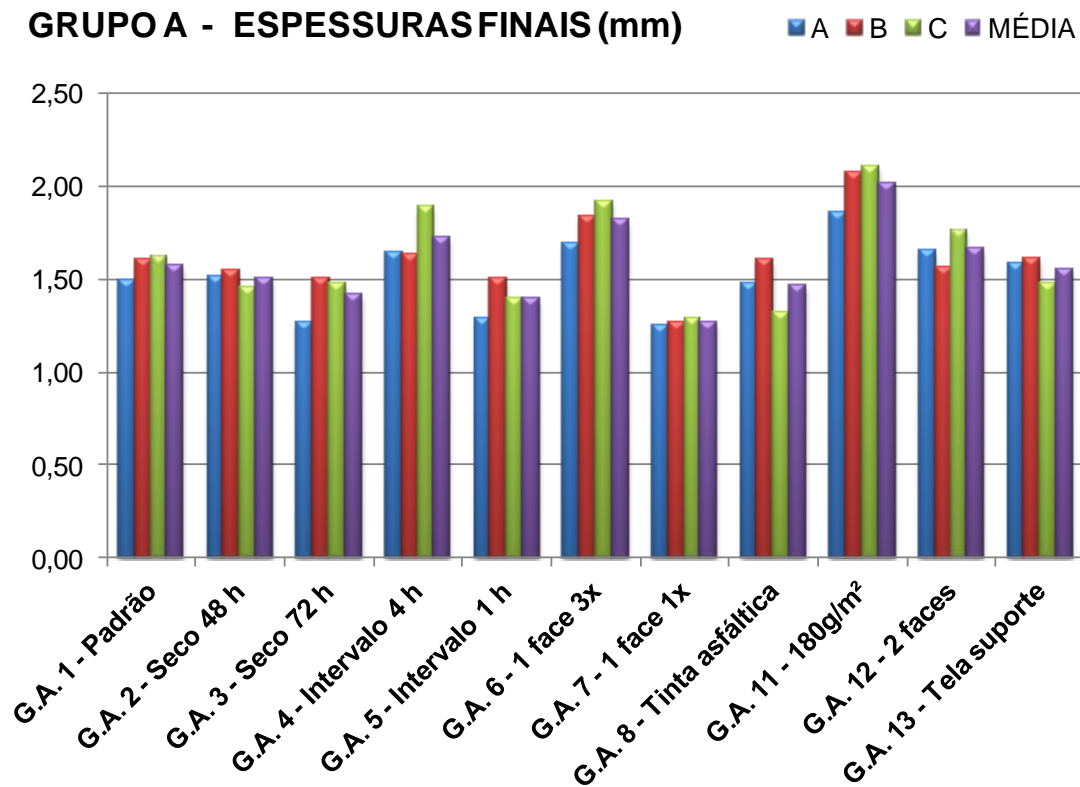
**Tabela 18 - Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	ESPESSURAS FINAIS (mm)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,49	1,60	1,62	1,57	0,07	4
2 - Seco 48 h	1,51	1,54	1,45	1,50	0,05	3
3 - Seco 72 h	1,27	1,50	1,47	1,41	0,13	9
4 - Intervalo 4 h	1,64	1,63	1,89	1,72	0,15	9
5 - Intervalo 1 h	1,29	1,50	1,39	1,39	0,11	8
6 - 1 face 3x	1,69	1,84	1,92	1,82	0,12	6
7 - 1 face 1x	1,25	1,27	1,29	1,27	0,02	2
8 - Tinta asfáltica	1,47	1,60	1,32	1,46	0,14	10
11 - 180g/m <sup>2</sup>	1,86	2,07	2,10	2,01	0,13	7
12 - 2 faces	1,65	1,56	1,76	1,66	0,10	6
13 - Tela suporte	1,58	1,61	1,47	1,55	0,07	5

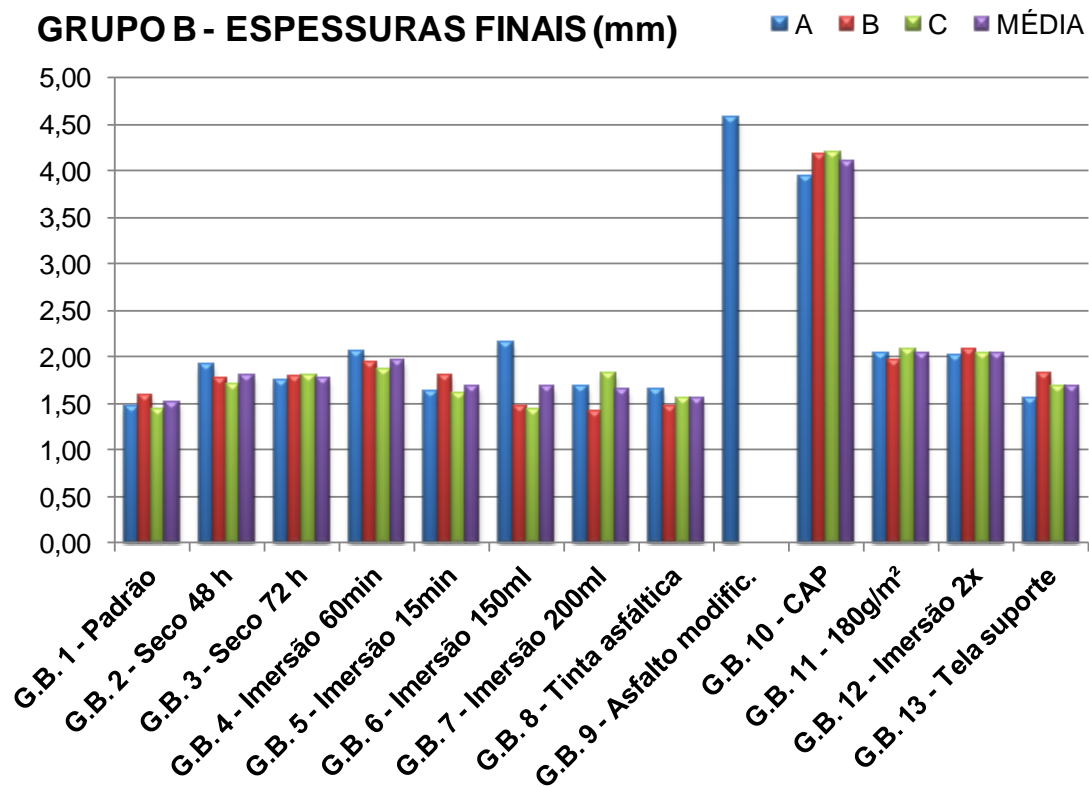
**Tabela 19 - Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	ESPESSURAS FINAIS (mm)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,47	1,59	1,43	1,50	0,08	6
2 - Seco 48 h	1,91	1,76	1,70	1,79	0,11	6
3 - Seco 72 h	1,73	1,77	1,79	1,76	0,03	2
4 - Imersão 60min	2,05	1,94	1,86	1,95	0,10	5
5 - Imersão 15min	1,63	1,79	1,61	1,68	0,10	6
6 - Imersão 150ml	2,16	1,47	1,42	1,68	0,41	25
7 - Imersão 200ml	1,69	1,40	1,81	1,63	0,21	13
8 - Tinta asfáltica	1,64	1,46	1,55	1,55	0,09	6
9 - Asfalto modific.	4,57	-	-	-	-	-
10 - CAP	3,94	4,18	4,19	4,10	0,14	4
11 - 180g/m <sup>2</sup>	2,04	1,96	2,08	2,03	0,06	3
12 - Imersão 2x	2,01	2,07	2,04	2,04	0,03	1
13 - Tela suporte	1,55	1,81	1,68	1,68	0,13	8

**Gráfico 7 – Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**



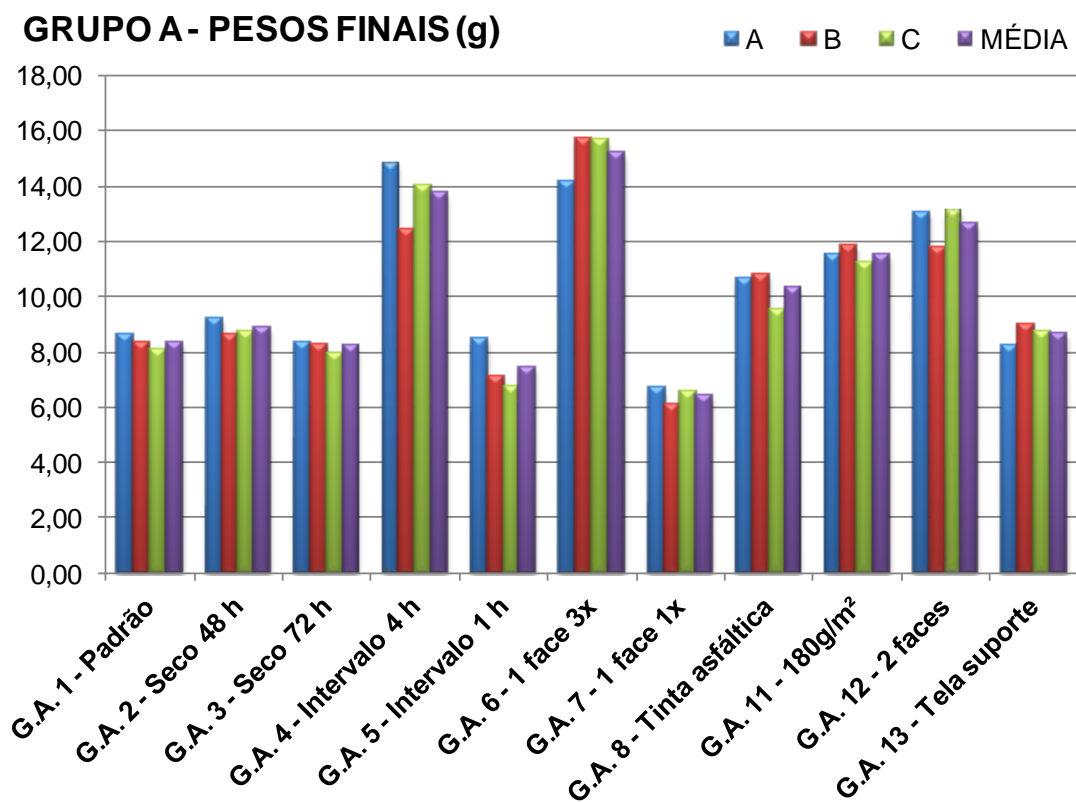
**Gráfico 8 – Resultados das espessuras finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**



**Tabela 20 - Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	PESOS FINAIS (g)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	8,58	8,36	8,09	8,34	0,25	3
2 - Seco 48 h	9,19	8,58	8,74	8,84	0,32	4
3 - Seco 72 h	8,34	8,28	7,95	8,19	0,21	3
4 - Intervalo 4 h	14,77	12,42	13,97	13,72	1,19	9
5 - Intervalo 1 h	8,47	7,08	6,73	7,43	0,92	12
6 - 1 face 3x	14,16	15,70	15,67	15,18	0,88	6
7 - 1 face 1x	6,69	6,12	6,52	6,44	0,29	5
8 - Tinta asfáltica	10,63	10,74	9,50	10,29	0,69	7
11 - 180g/m²	11,52	11,80	11,22	11,51	0,29	3
12 - 2 faces	13,02	11,79	13,05	12,62	0,72	6
13 - Tela suporte	8,21	8,99	8,73	8,64	0,40	5

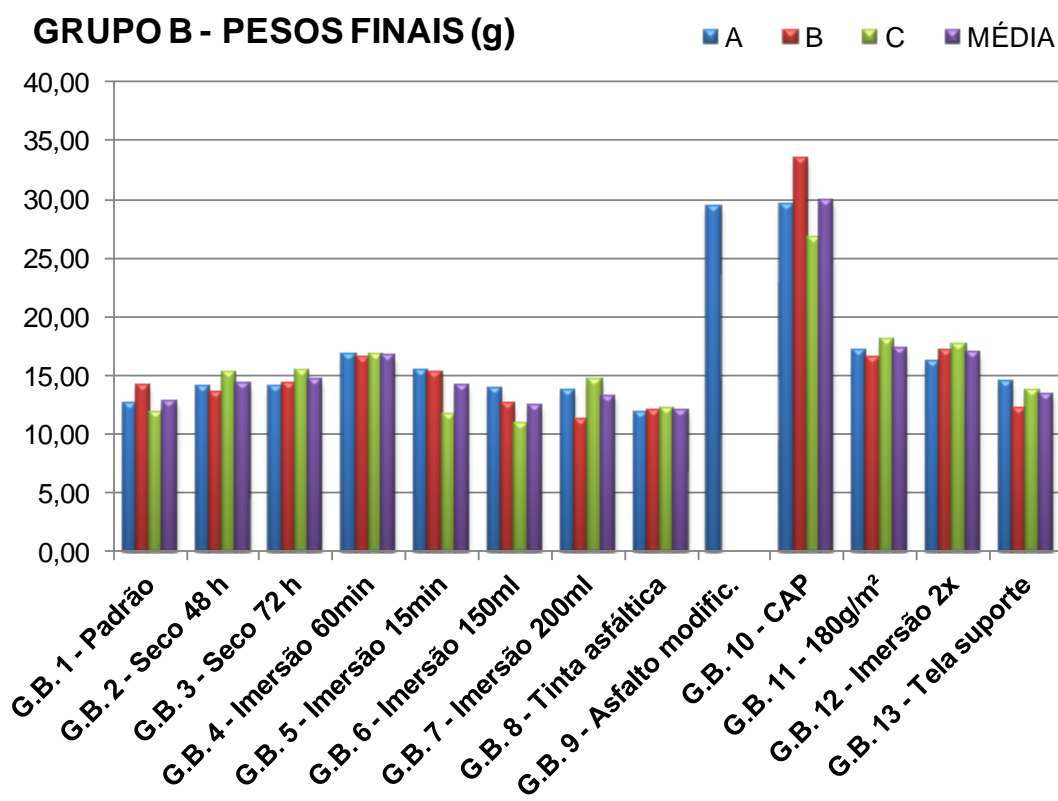
**Gráfico 9 – Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo A.**



**Tabela 21 - Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	PESOS FINAIS (g)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	12,51	14,07	11,82	12,80	1,15	9
2 – Seco 48 h	13,90	13,48	15,29	14,22	0,95	7
3 - Seco 72 h	14,01	14,26	15,38	14,55	0,73	5
4 - Imersão 60min	16,74	16,48	16,85	16,69	0,19	1
5 - Imersão 15min	15,38	15,19	11,63	14,07	2,11	15
6 - Imersão 150ml	13,86	12,60	10,83	12,43	1,52	12
7 - Imersão 200ml	13,68	11,14	14,55	13,12	1,77	14
8 - Tinta asfáltica	11,82	11,87	12,06	11,92	0,13	1
9 - Asfalto modific.	29,41	-	-	-	-	-
10 - CAP	29,47	33,50	26,72	29,90	3,41	11
11 - 180g/m²	17,13	16,46	18,04	17,21	0,79	5
12 - Imersão 2x	16,08	17,06	17,61	16,92	0,78	5
13 - Tela suporte	14,44	12,17	13,62	13,41	1,15	9

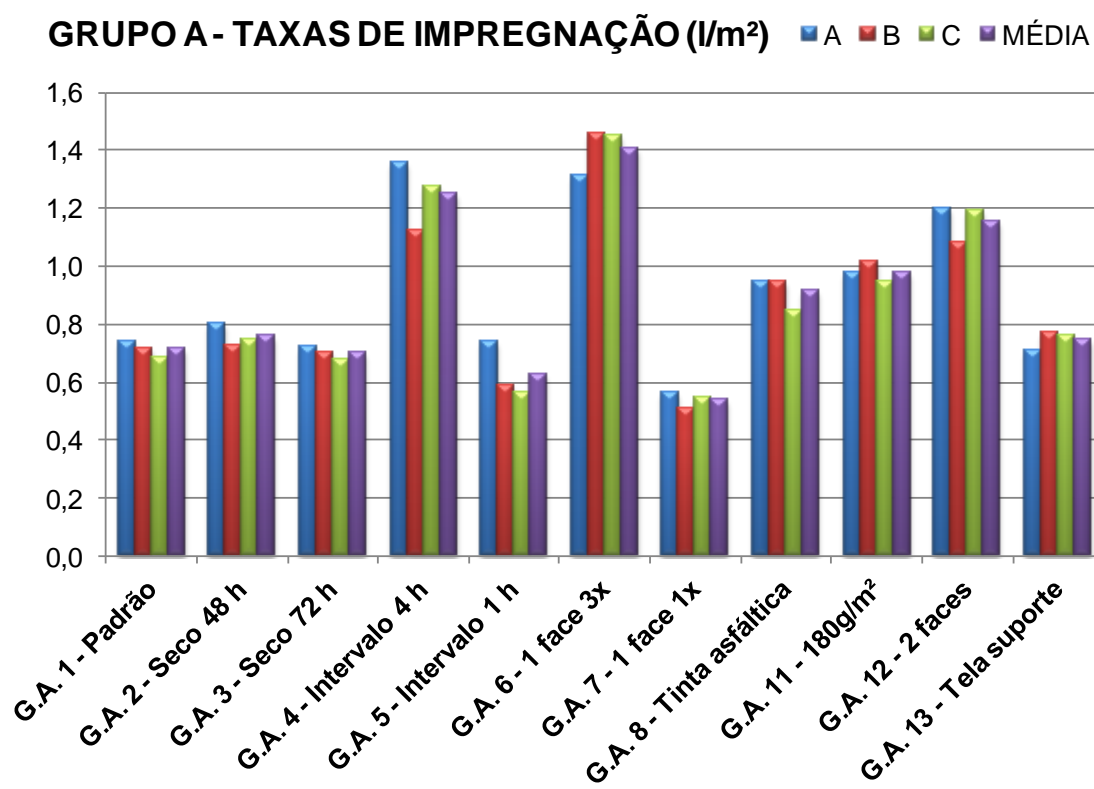
**Gráfico 10 – Resultados dos pesos finais dos corpos de prova de geotêxteis não tecido, após do procedimento de impregnação, obtidas para o Grupo B.**



**Tabela 22 - Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	TAXAS DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	0,7	0,7	0,7	0,7	0,03	4
2 - Seco 48 h	0,8	0,7	0,7	0,8	0,04	6
3 - Seco 72 h	0,7	0,7	0,7	0,7	0,02	3
4 - Intervalo 4 h	1,4	1,1	1,3	1,3	0,12	10
5 - Intervalo 1 h	0,7	0,6	0,6	0,6	0,09	15
6 - 1 face 3x	1,3	1,5	1,5	1,4	0,08	6
7 - 1 face 1x	0,6	0,5	0,5	0,5	0,03	5
8 - Tinta asfáltica	0,9	0,9	0,8	0,9	0,06	6
11 - 180g/m <sup>2</sup>	1,0	1,0	0,9	1,0	0,03	3
12 - 2 faces	1,2	1,1	1,2	1,2	0,07	6
13 - Tela suporte	0,7	0,8	0,8	0,7	0,03	5

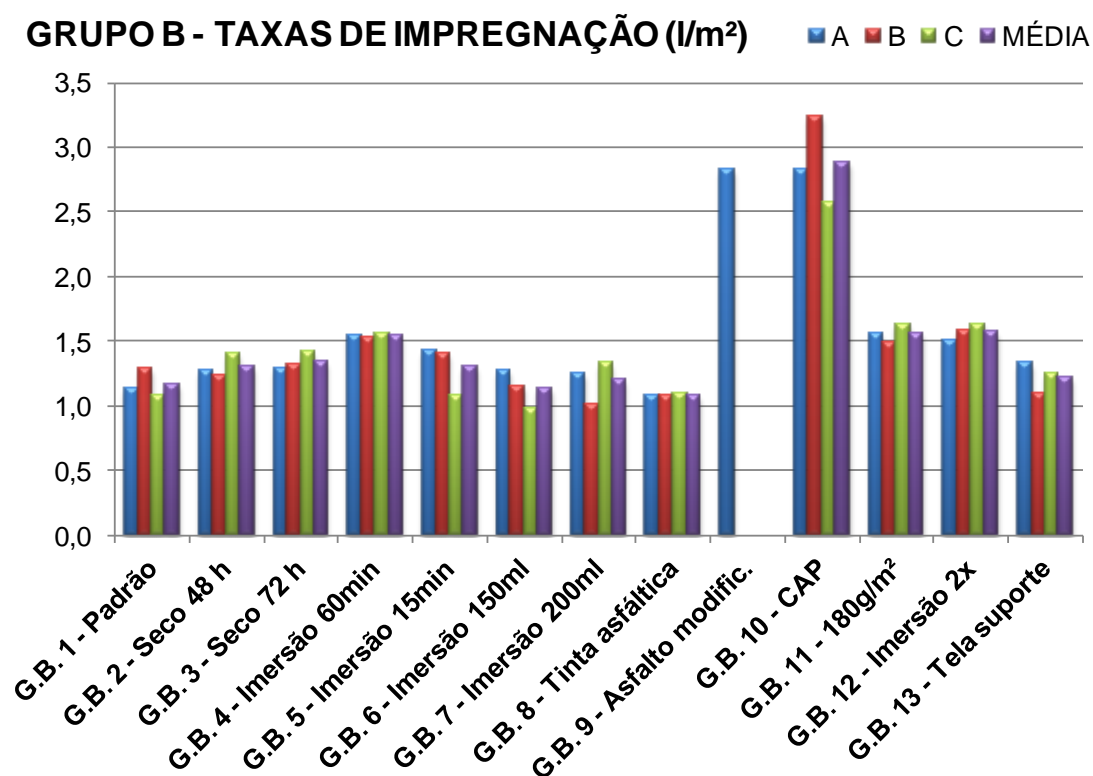
**Gráfico 11 – Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**



**Tabela 23 - Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	TAXAS DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,1	1,3	1,1	1,2	0,1	9
2 - Seco 48 h	1,3	1,2	1,4	1,3	0,1	7
3 - Seco 72 h	1,3	1,3	1,4	1,3	0,1	5
4 - Imersão 60min	1,5	1,5	1,6	1,5	0,0	1
5 - Imersão 15min	1,4	1,4	1,1	1,3	0,2	15
6 - Imersão 150ml	1,3	1,1	1,0	1,1	0,1	13
7 - Imersão 200ml	1,3	1,0	1,3	1,2	0,2	14
8 - Tinta asfáltica	1,1	1,1	1,1	1,1	0,0	1
9 - Asfalto modif.	2,8	-	-	-	-	-
10 - CAP	2,8	3,2	2,6	2,9	0,3	12
11 - 180g/m <sup>2</sup>	1,6	1,5	1,6	1,6	0,1	5
12 - Imersão 2x	1,5	1,6	1,6	1,6	0,1	4
13 - Tela suporte	1,3	1,1	1,2	1,2	0,1	10

**Gráfico 12 – Resultados das taxas de impregnação com asfalto dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**



### 4.3 PERMISSIVIDADE DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO

Os resultados de permissividades, obtidos a partir do ensaio de carga constante baseado na norma ASTM D4491 e adaptado para carga hidráulica de aproximadamente 1,80m, são apresentados nas Tabela 24 e Tabela 25 e nos Gráfico 13 e Gráfico 14 que se seguem.

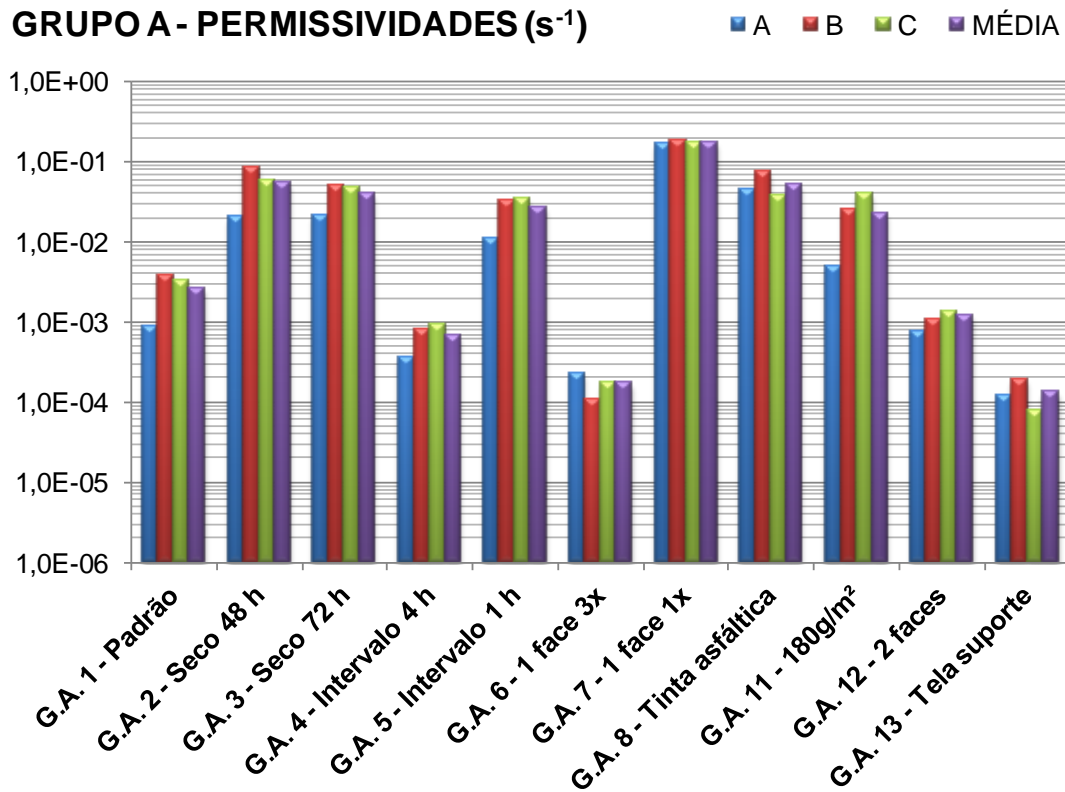
**Tabela 24 - Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	PERMISSIVIDADES ( $S^{-1}$ )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	8,8E-04	3,8E-03	3,2E-03	2,6E-03	1,6E-03	59
2 - Seco 48 h	2,0E-02	8,5E-02	5,8E-02	5,4E-02	3,3E-02	60
3 - Seco 72 h	2,2E-02	5,0E-02	4,6E-02	3,9E-02	1,5E-02	39
4 - Intervalo 4 h	3,6E-04	7,8E-04	9,0E-04	6,8E-04	2,9E-04	42
5 - Intervalo 1 h	1,1E-02	3,2E-02	3,4E-02	2,6E-02	1,3E-02	51
6 - 1 face 3x	2,2E-04	1,1E-04	1,7E-04	1,7E-04	5,6E-05	34
7 - 1 face 1x	1,7E-01	1,8E-01	1,7E-01	1,7E-01	8,2E-03	5
8 - Tinta asfáltica	4,4E-02	7,5E-02	3,8E-02	5,2E-02	2,0E-02	38
11 - 180g/m <sup>2</sup>	4,8E-03	2,4E-02	3,9E-02	2,3E-02	1,7E-02	75
12 - 2 faces	7,3E-04	1,1E-03	1,3E-03	1,2E-03	2,9E-04	25
13 - Tela suporte	1,2E-04	1,9E-04	7,6E-05	1,3E-04	5,6E-05	44

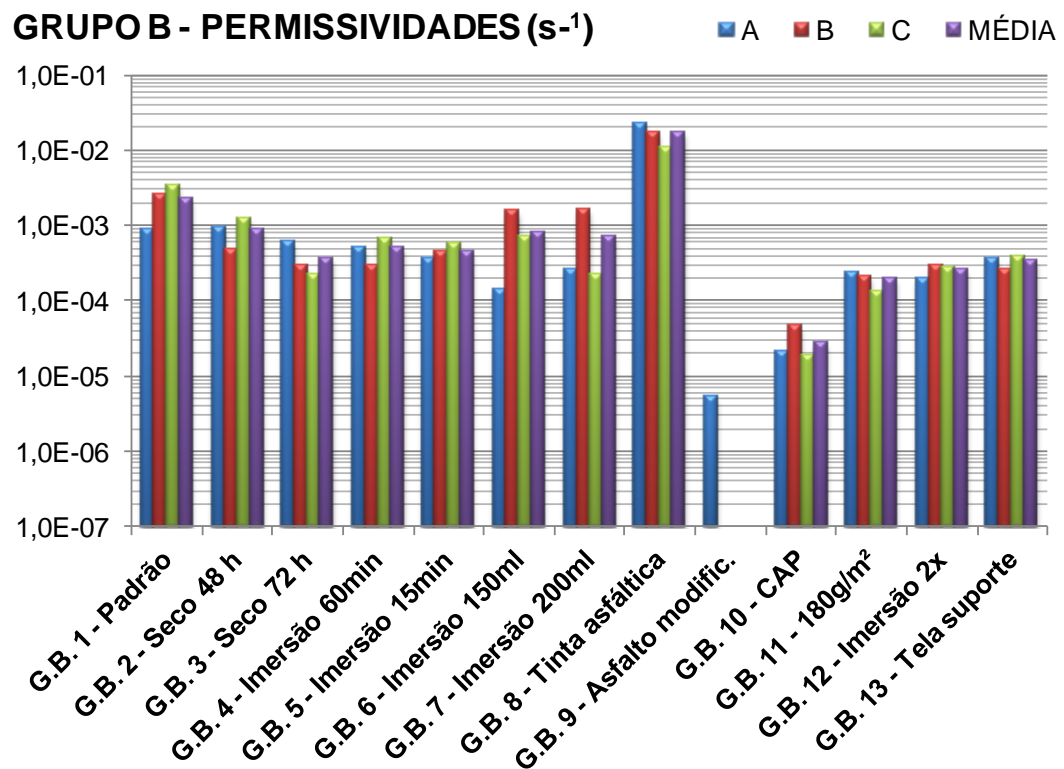
**Tabela 25 - Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	PERMISSIVIDADES ( $S^{-1}$ )				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	8,9E-04	2,5E-03	3,4E-03	2,2E-03	1,3E-03	56
2 - Seco 48 h	9,2E-04	4,7E-04	1,2E-03	8,8E-04	3,9E-04	44
3 - Seco 72 h	5,8E-04	2,9E-04	2,1E-04	3,6E-04	1,9E-04	54
4 - Imersão 60min	5,1E-04	2,8E-04	6,8E-04	4,9E-04	2,0E-04	40
5 - Imersão 15min	3,5E-04	4,4E-04	5,8E-04	4,6E-04	1,1E-04	25
6 - Imersão 150ml	1,4E-04	1,5E-03	7,2E-04	7,9E-04	6,9E-04	88
7 - Imersão 200ml	2,6E-04	1,7E-03	2,1E-04	7,1E-04	8,2E-04	115
8 - Tinta asfáltica	2,2E-02	1,7E-02	1,1E-02	1,7E-02	5,6E-03	34
9 - Asfalto modific.	5,2E-06	-	-	-	-	-
10 - CAP	2,0E-05	4,5E-05	1,9E-05	2,8E-05	1,5E-05	52
11 - 180g/m <sup>2</sup>	2,3E-04	2,1E-04	1,3E-04	1,9E-04	5,0E-05	26
12 - Imersão 2x	2,0E-04	2,9E-04	2,7E-04	2,6E-04	5,0E-05	19
13 - Tela suporte	3,7E-04	2,6E-04	3,7E-04	3,3E-04	6,6E-05	20

**Gráfico 13 – Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**



**Gráfico 14 – Resultados das permissividades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**





#### 4.4 PERMEABILIDADE DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO

As permeabilidades resultantes dos valores de permissividades multiplicados pelas espessuras finais são apresentadas nas Tabela 26 e Tabela 27 e nos Gráfico 15 e Gráfico 16. O resultados são apresentados em centímetros por segundo, para facilitar a comparação com os valores das permeabilidades dos materiais naturais de construção padronizados e consagrados na engenharia geotécnica.

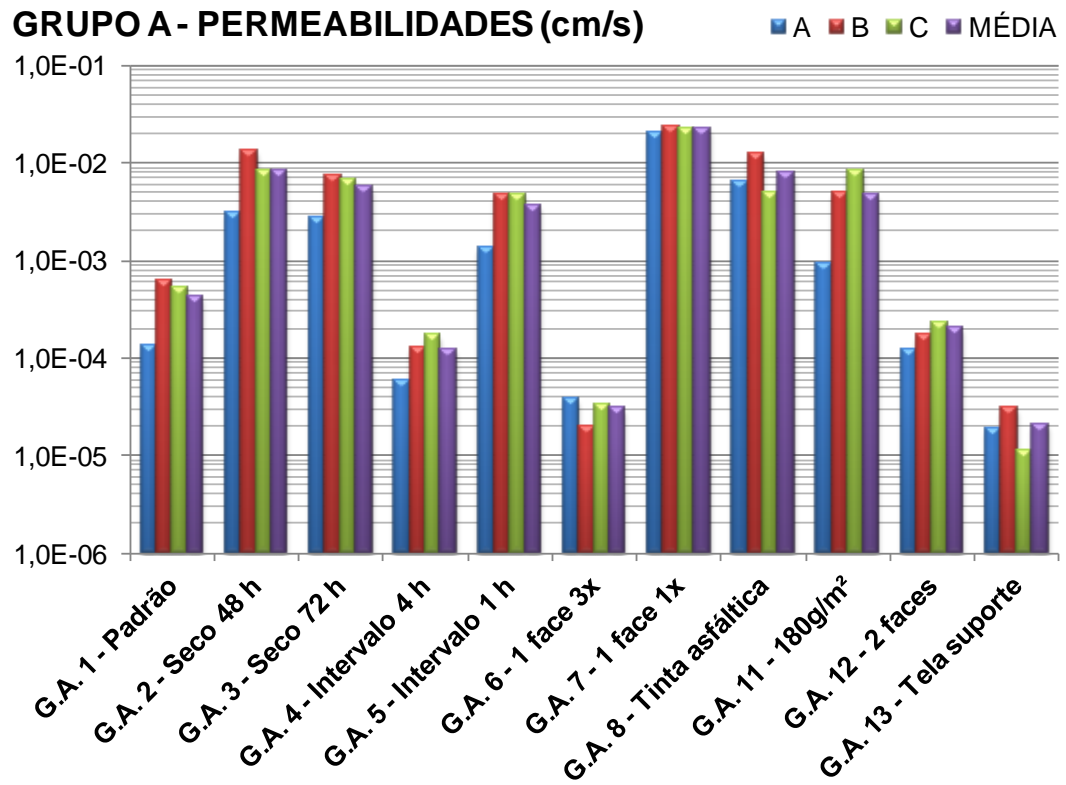
**Tabela 26 - Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	PERMEABILIDADES (cm/s)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,3E-04	6,2E-04	5,2E-04	4,2E-04	2,6E-04	61
2 - Seco 48 h	3,0E-03	1,3E-02	8,4E-03	8,2E-03	5,0E-03	61
3 - Seco 72 h	2,7E-03	7,4E-03	6,8E-03	5,7E-03	2,5E-03	45
4 - Intervalo 4 h	5,8E-05	1,3E-04	1,7E-04	1,2E-04	5,7E-05	48
5 - Intervalo 1 h	1,4E-03	4,8E-03	4,7E-03	3,6E-03	2,0E-03	54
6 - 1 face 3x	3,7E-05	2,0E-05	3,3E-05	3,0E-05	9,1E-06	30
7 - 1 face 1x	2,1E-02	2,3E-02	2,2E-02	2,2E-02	1,2E-03	5
8 - Tinta asfáltica	6,5E-03	1,2E-02	5,0E-03	7,8E-03	3,7E-03	47
11 - 180g/m²	9,0E-04	5,0E-03	8,2E-03	4,7E-03	3,7E-03	78
12 - 2 faces	1,2E-04	1,7E-04	2,3E-04	2,0E-04	5,5E-05	28
13 - Tela suporte	1,9E-05	3,0E-05	1,1E-05	2,0E-05	9,6E-06	48

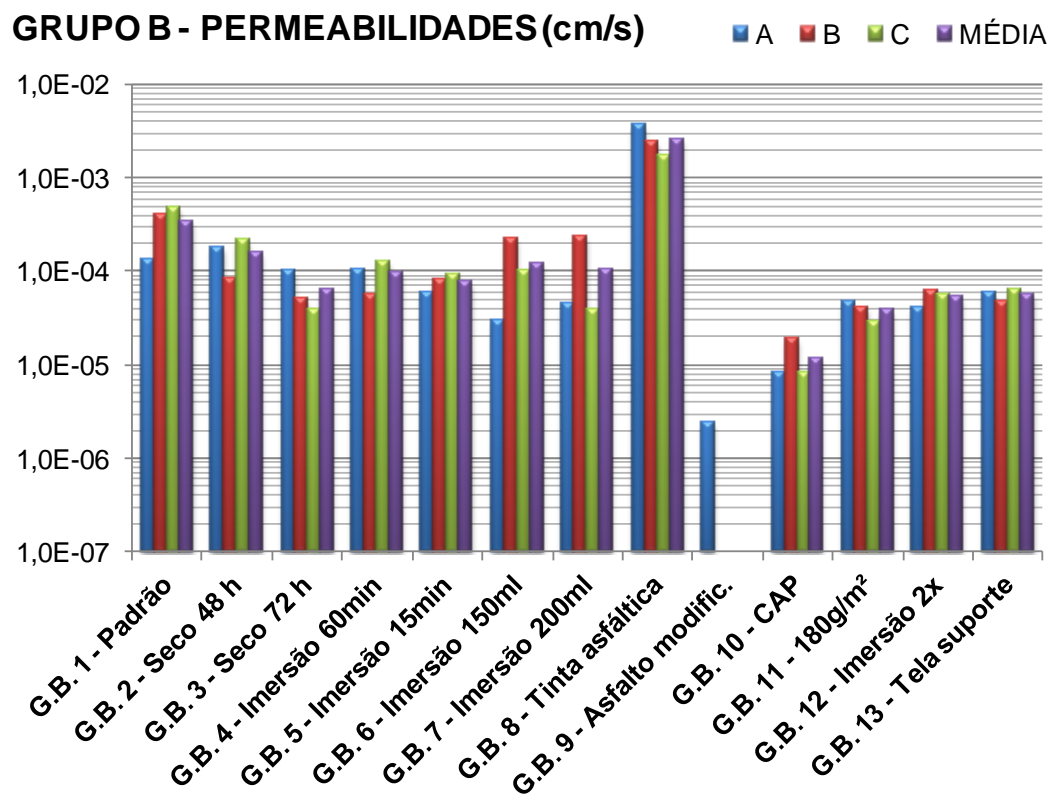
**Tabela 27 - Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	PERMEABILIDADES (cm/s)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	1,3E-04	4,0E-04	4,8E-04	3,4E-04	1,8E-04	54
2 - Seco 48 h	1,8E-04	8,3E-05	2,1E-04	1,6E-04	6,6E-05	42
3 - Seco 72 h	1,0E-04	5,1E-05	3,8E-05	6,3E-05	3,3E-05	52
4 - Imersão 60min	1,0E-04	5,5E-05	1,3E-04	9,5E-05	3,6E-05	38
5 - Imersão 15min	5,7E-05	7,8E-05	9,3E-05	7,6E-05	1,8E-05	23
6 - Imersão 150ml	3,0E-05	2,2E-04	1,0E-04	1,2E-04	9,8E-05	83
7 - Imersão 200ml	4,4E-05	2,3E-04	3,9E-05	1,1E-04	1,1E-04	105
8 - Tinta asfáltica	3,6E-03	2,4E-03	1,7E-03	2,6E-03	9,8E-04	38
9 - Asfalto modific.	2,4E-06	-	-	-	-	-
10 - CAP	8,0E-06	1,9E-05	8,0E-06	1,2E-05	6,3E-06	54
11 - 180g/m²	4,6E-05	4,1E-05	2,8E-05	3,8E-05	9,6E-06	25
12 - Imersão 2x	4,0E-05	6,1E-05	5,5E-05	5,2E-05	1,1E-05	21
13 - Tela suporte	5,7E-05	4,7E-05	6,3E-05	5,6E-05	8,3E-06	15

**Gráfico 15 – Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo A.**



**Gráfico 16 – Resultados das permeabilidades dos corpos de prova de geotêxteis não tecido obtidas para o Grupo B.**



#### 4.5 FLUXO DE ÁGUA DO GEOTÊXTIL NÃO TECIDO IMPREGNADO COM ASFALTO

Os resultados dos fluxos de água para os corpos de prova impregnados são apresentados nas Tabela 28 e Tabela 29 e nos Gráfico 17 e Gráfico 18. Estes resultados expressam as permissividades em litros por minuto por unidade de ares por unidade de por unidade de carga hidráulica por tempo.

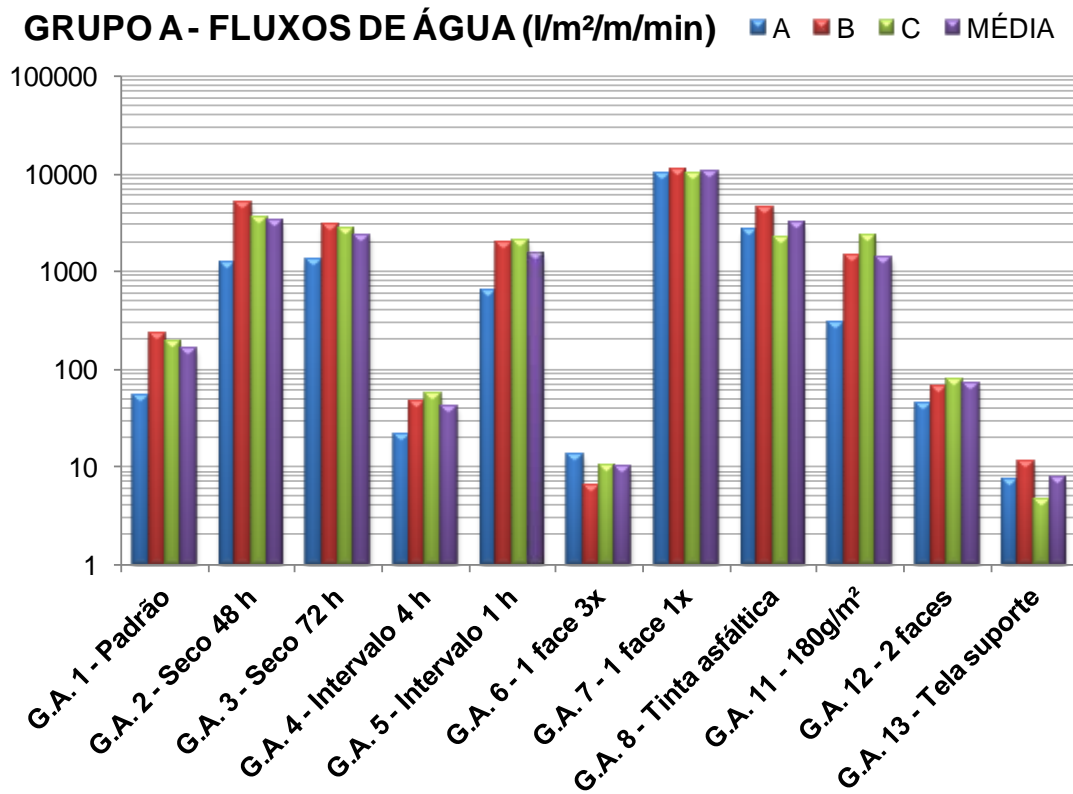
**Tabela 28 - Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo A.**

GRUPO A (ESPALHAMENTO)	FLUXO DE ÁGUA (l/min/m <sup>2</sup> /m)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	53	231	192	159	94	59
2 - Seco 48 h	1202	5087	3491	3260	1953	60
3 - Seco 72 h	1296	2973	2767	2345	914	39
4 - Intervalo 4 h	21	47	54	41	17	42
5 - Intervalo 1 h	631	1933	2040	1535	785	51
6 - 1 face 3x	13	6	10	10	3	34
7 - 1 face 1x	10019	10947	10210	10392	490	5
8 - Tinta asfáltica	2643	4496	2266	3135	1193	38
11 - 180g/m <sup>2</sup>	290	1461	2336	1362	1027	75
12 - 2 faces	44	65	79	72	18	25
13 - Tela suporte	7	11	5	8	3	44

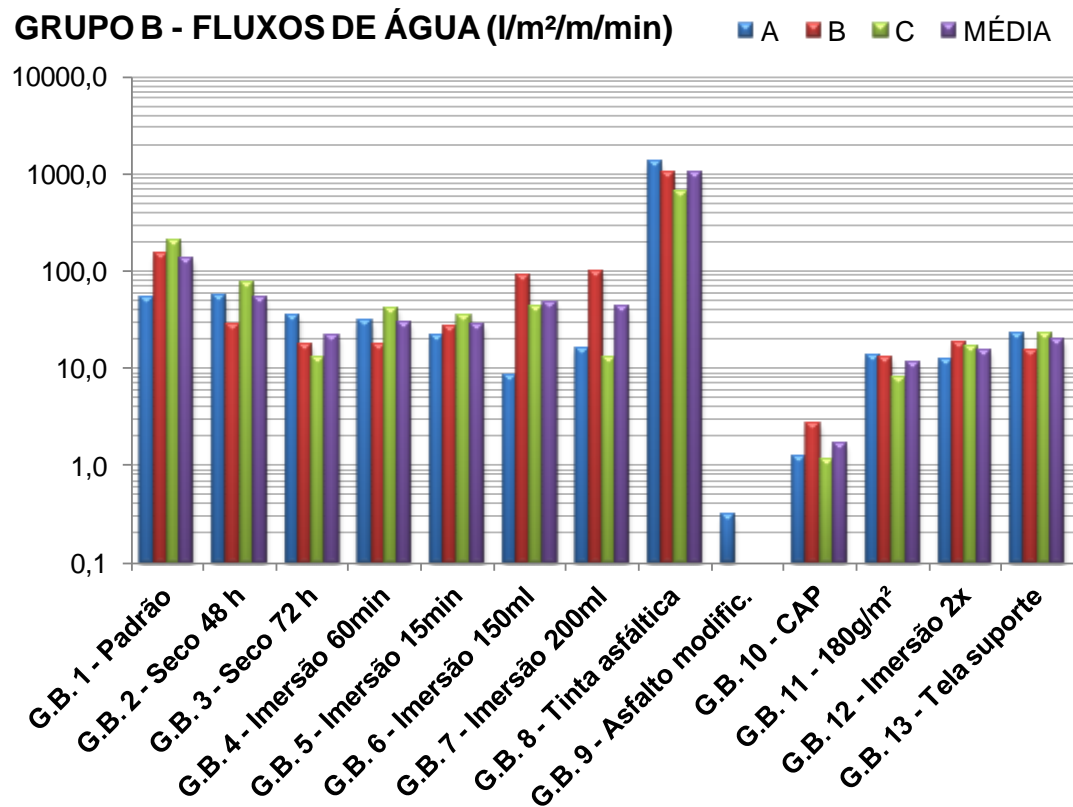
**Tabela 29 - Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo B.**

GRUPO B (IMERSÃO)	FLUXO DE ÁGUA (l/min/m <sup>2</sup> /m)				DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	A	B	C	MÉDIA		
1 - Padrão	53	149	201	135	75	56
2 - Seco 48 h	55	28	74	53	23	44
3 - Seco 72 h	35	17	13	22	12	54
4 - Imersão 60min	30	17	41	29	12	40
5 - Imersão 15min	21	26	35	27	7	25
6 - Imersão 150ml	8	91	43	47	42	88
7 - Imersão 200ml	16	100	13	43	49	115
8 - Tinta asfáltica	1326	993	656	992	335	34
9 - Asfalto modific.	0	-	-	-	-	-
10 - CAP	1	3	1	2	1	52
11 - 180g/m <sup>2</sup>	14	13	8	11	3	26
12 - Imersão 2x	12	18	16	15	3	19
13 - Tela suporte	22	15	22	20	4	20

**Gráfico 17 – Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo A.**



**Gráfico 18 – Resultados dos fluxos de água dos corpos de prova de geotêxteis impregnados obtidos para o Grupo B.**



## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são abordadas as análises dos resultados obtidos na pesquisa. Para cada conjunto de três corpos de provas preparados e ensaiados sob a mesma condição, foi adotado um valor único resultante da média dos três valores obtidos.

Os principais parâmetros de comparação adotados são as permeabilidades e permissividades, obtidos a partir dos corpos de prova padrão, frente a influência das variações impostas, seja no preparo, ensaio, tipo de geotêxtil ou tipo de asfalto, apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

Também são feitas ponderações em função das taxas de impregnação, espessuras finais e fluxos de água, fatores que influenciam no desempenho da manta impregnada com asfalto como barreira impermeabilizante.

### 5.1 CORPO DE PROVA PADRÃO – GRUPO A E GRUPO B

O exemplar padrão que representa o Grupo A, preparado com a técnica de espalhamento com rolo da emulsão asfáltica, apresentou os seguintes valores médios: taxa de impregnação 0,7l/m<sup>2</sup>; espessura final 1,57mm; permissividade  $2,6 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ; permeabilidade  $4,2 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ; fluxo de água 159 l/min/m<sup>2</sup>/m.

O processo de impregnação do Grupo A resultou em um aumento na espessura de 0,40mm, visto que a média das espessuras iniciais (nominais) é de 1,17mm. Ao analisarmos os dados da Tabela 9 que apresenta valores de referência do geotêxtil virgem, ou seja, antes de ser impregnado, é possível constatar uma redução nos valores de permissividade, permeabilidade e fluxo de água. A permissividade e a permeabilidade resultantes são mil vezes menores. Já o fluxo de água reduziu aproximadamente em cinquenta vezes.

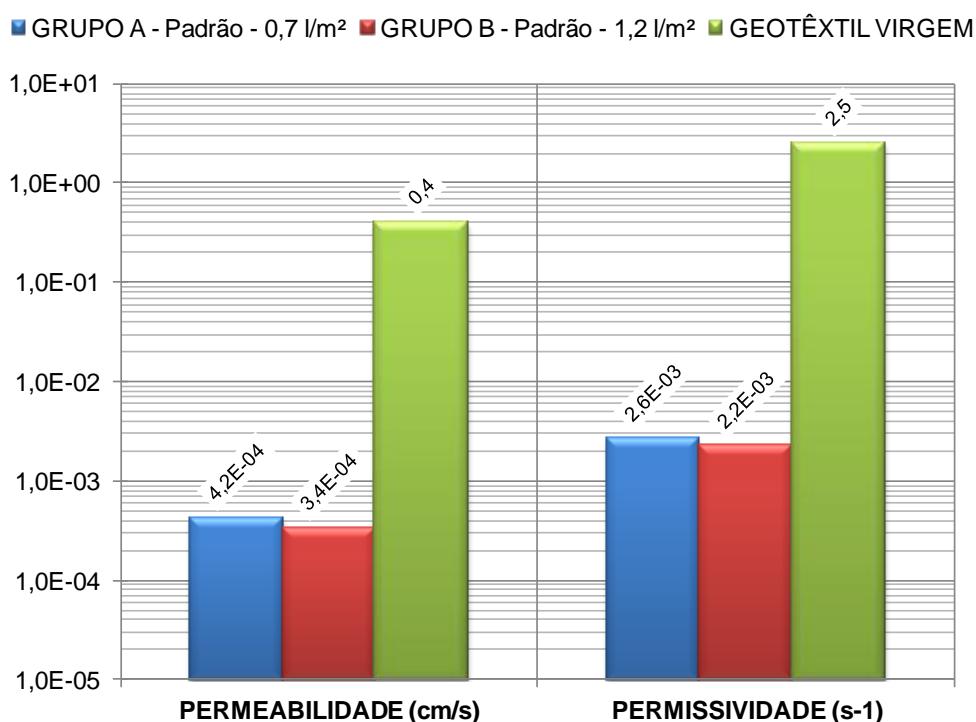
Os corpos de prova do Grupo B, impregnados por imersão também com emulsão asfáltica, apresentaram os seguintes valores médios: taxa de impregnação 1,2l/m<sup>2</sup>; espessura final 1,50mm; permissividade  $2,2 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ; permeabilidade  $3,4 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ; fluxo de água 135l/min/m<sup>2</sup>/m.

Semelhante ao exemplar do Grupo A, o padrão para o Grupo B, com a impregnação aumentou em 0,41mm a espessura, teve uma redução nos parâmetros de permissividade e permeabilidade da ordem de mil vezes menos e o fluxo de água

reduzido em quase cinquenta vezes. Somente a taxa de impregnação resultou em um valor setenta por cento superior em relação ao valor obtido para o Grupo A.

O Gráfico 19 apresenta a variação significativa entre os resultados de permissividade e permeabilidade do geotêxtil antes e após a impregnação. No caso dos corpos de prova padrão, independentemente do método utilizado na impregnação, as permeabilidades e permissividades podem ser consideradas praticamente iguais, mesmo para diferentes taxas de impregnação com material asfáltico.

**Gráfico 19 – Permissividades e permeabilidades dos corpos de prova padrão versus geotêxtil antes do procedimento de impregnação.**



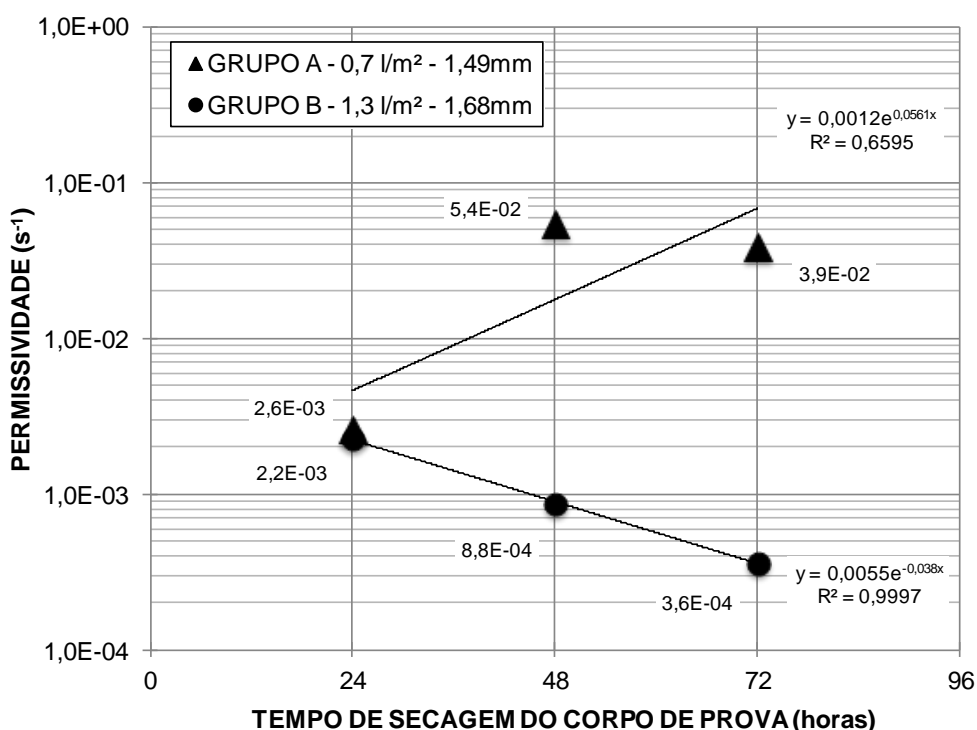
## 5.2 TEMPO DE SECAGEM – GRUPO A E GRUPO B

Para avaliar a influência do tempo de secagem nos valores de permissividade e permeabilidade, seis corpos de prova do Grupo A foram igualmente impregnados com asfalto, baseados no exemplar padrão. O mesmo procedimento foi realizado para seis exemplares do Grupo B. Após o procedimento de impregnação, os exemplares foram submetidos a diferentes tempos de secagem antes do início do processo de saturação, para posterior realização do ensaio.

Tendo em vista o método de preparo semelhante, independentemente do tempo de secagem e incluindo o exemplar padrão, foi considerada a média dos resultados obtidos de espessura final e taxa de impregnação. A taxa de impregnação média do Grupo A é de 0,7l/m<sup>2</sup> e espessura final média de 1,49mm. O Grupo B apresentou taxa de impregnação média de 1,3l/m<sup>2</sup> e espessura final média de 1,68mm.

Conforme ilustra o Gráfico 20, tomando como base o valor médio padrão da permissividade obtido para um tempo de secagem de 24 horas, para o Grupo A verifica-se um aumento deste parâmetro para secagens de 48 e 72 horas. O contrário ocorre para o Grupo B, em que a permissividade decresce com o dobro e o triplo do tempo. Reflexo das permissividades, as permeabilidades apresentam o mesmo comportamento, como mostra o Gráfico 21.

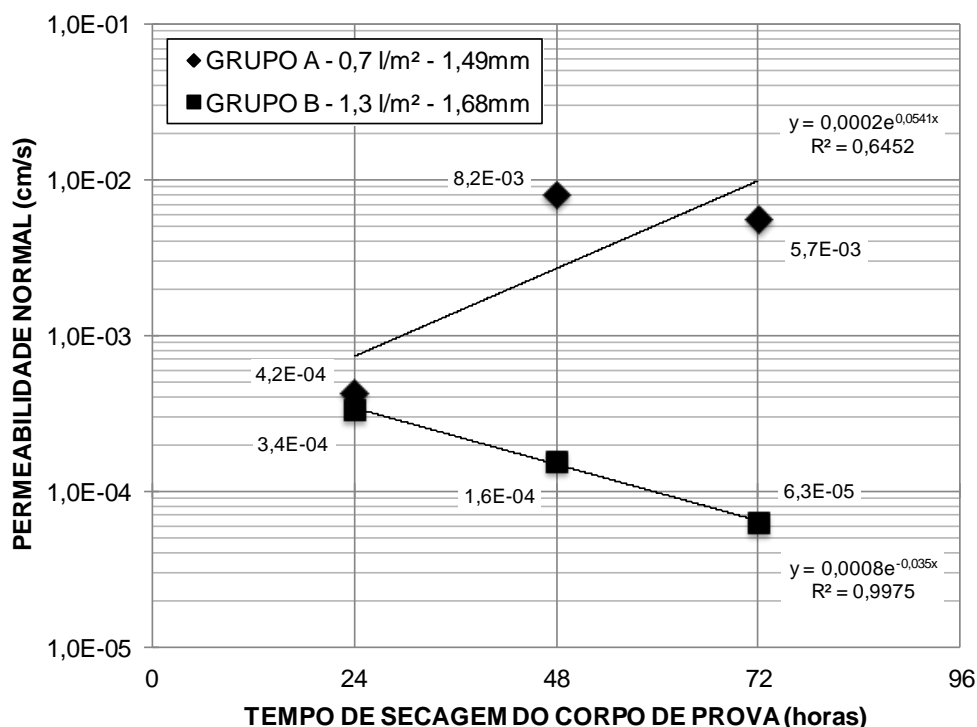
**Gráfico 20 – Influência do tempo de secagem dos corpos de prova nos resultados das permissividades do Grupo A e Grupo B.**



Apesar das taxas de impregnação e espessuras finais serem semelhantes, o tempo de secagem tem influência sobre os valores das permissividades e permeabilidades, segundo as diferentes técnicas de impregnação. Para o Grupo A uma estabilização nos valores ocorre após 48 horas de secagem. No entanto, para o

Grupo B, a linha de tendência exponencial passando sobre todos os pontos, caracteriza um declínio constante nos valores após 48 e 72 horas.

**Gráfico 21 – Influência do tempo de secagem dos corpos de prova nos resultados das permeabilidades do Grupo A e Grupo B.**



É característico da emulsão asfáltica iniciar seu processo de ruptura imediatamente ao entrar em contato com a manta de geotêxtil e finalizar após poucos minutos. Já a cura da emulsão que inicia logo após a ruptura, caracterizada pela evaporação total da água existente, é influenciada pela temperatura ambiente e condições de umidade. Portanto, após 24 horas a emulsão asfáltica pode não estar totalmente curada e ainda apresentar água em sua composição.

Isto explica o comportamento oposto entre os resultados dos Grupos A e B somente após o período de 24 horas. Independente da técnica de impregnação, taxa de impregnação e espessura final, em apenas um dia estes fatores demonstraram não influenciar nos parâmetros, dados os resultados equivalentes.

O Grupo B, com maior espessura e taxa de asfalto, não seca na mesma proporção de tempo do Grupo A. Enquanto a emulsão não se solidifica totalmente ao geotêxtil do Grupo B, mesmo em maior espessura não forma uma barreira suficientemente resistente a ao fluxo de água. Dado o tempo necessário para que a



emulsão esteja seca, a taxa de 1,3l/m<sup>2</sup> e espessura da ordem de 1,7mm do Grupo B se tornam fatores determinantes para resultados de permeabilidades 10<sup>-5</sup>cm/s, fluxo de água de 37l/min/m<sup>2</sup>/m e permissividades 10<sup>-4</sup>s<sup>-1</sup>.

Após a cura completa da emulsão, um filme contínuo de CAP deve se formar no geotêxtil, como o ocorrido para o Grupo B. Porém, nos corpos de prova do Grupo A após 24, 48 e 72 horas, foram observados pequenos orifícios provenientes da evaporação total da água presente na emulsão. Esta característica foi observada ao direcionar o corpo de prova contra a claridade.

Desta análise é possível concluir que para baixas espessuras e taxas de impregnação, 1,5mm e 0,7l/m<sup>2</sup>, a emulsão asfáltica aplicada no geotêxtil pode resultar em uma película descontínua, levando a resultados de permissividades 10<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> e permeabilidades 10<sup>-3</sup>cm/s.

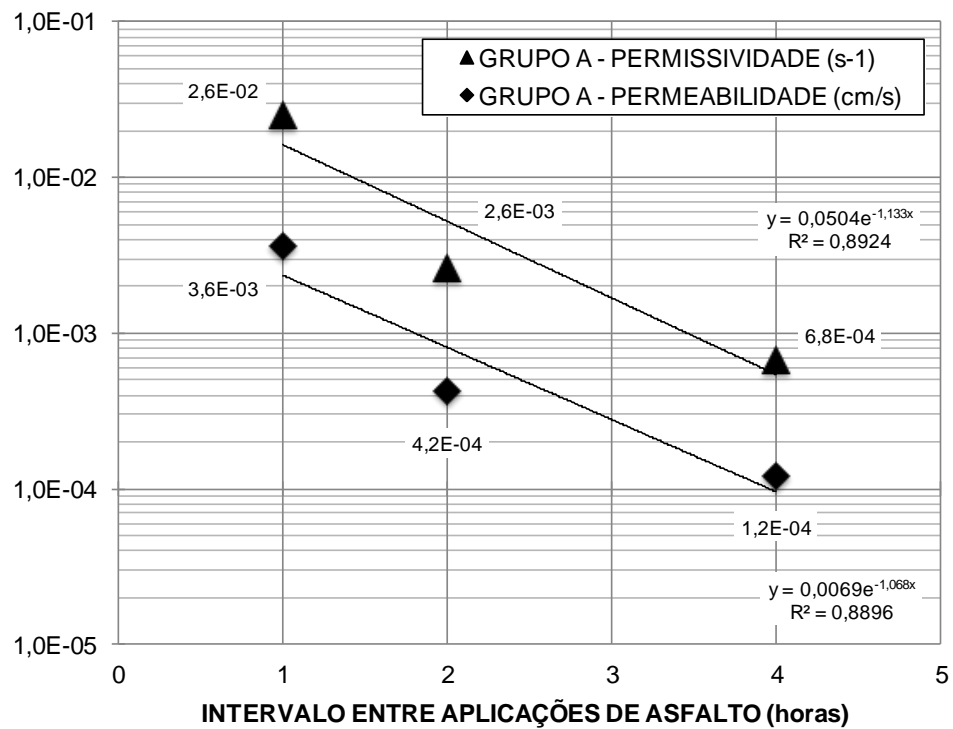
### 5.3 INTERVALO ENTRE APLICAÇÕES – GRUPO A

Para o exemplar padrão do Grupo A, o método de impregnação por espalhamento com rolo foi realizado duas vezes em uma só face com intervalo de tempo entre aplicações de 2 horas. O Gráfico 22 apresenta os resultados das permissividades e permeabilidades obtidos quando o tempo entre cada aplicação é reduzido pela metade ou dobrado.

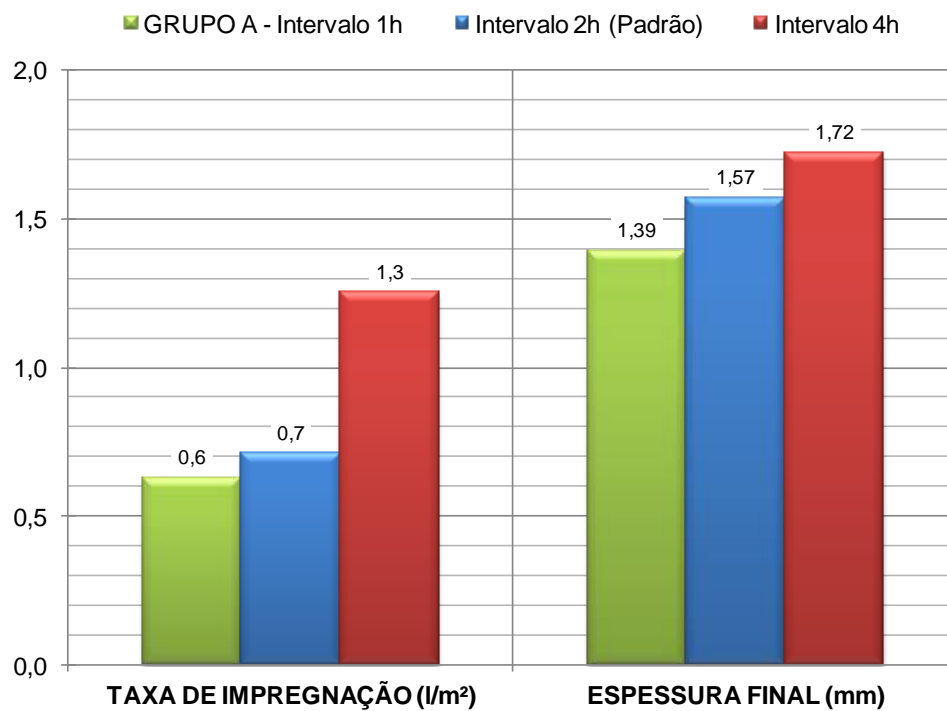
Os valores de ambos os parâmetros são praticamente dez vezes maiores quando o tempo entre aplicações é 1 hora. Entretanto, ao dobrar o tempo entre aplicações os valores são quase três vezes e meio menores.

Associado aos valores das permissividades e permeabilidades, são apresentados no Gráfico 23 os resultados das taxas de impregnação e espessuras finais. A taxas resultantes para os intervalos de 1 ou 2 horas não apresentam diferença significativa. Porém, com 4 horas a taxa de impregnação é quase o dobro do valor padrão. A diferença das espessuras finais, em relação a padrão de 1,57mm, ao menor tempo foi de 0,18mm para menos e ao maior intervalo de 0,15mm para mais.

**Gráfico 22 – Influência do intervalo de tempo entre aplicações de asfalto nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A.**



**Gráfico 23 – Influência do intervalo de tempo entre aplicações de asfalto nos resultados das taxas de impregnação e espessura final do Grupo A.**



Os resultados indicam que um tempo maior entre as aplicações permite praticamente dobrar a taxa do ligante asfáltico, possivelmente por permitir o acúmulo de duas camadas de emulsão no geotêxtil. Esta constatação é baseada no tempo necessário para a cura da emulsão e observações em laboratório durante os ensaios.

A primeira impregnação efetivamente penetra o corpo de prova. A segunda impregnação realizada após um tempo em que é possível notar o exemplar em estado mais seco, com a maior parte da água provavelmente já evaporada, forma um novo filme cobrindo as imperfeições da primeira aplicação, revestindo duplamente a face do corpo de prova.

No laboratório ao final de uma hora o corpo de prova ainda se encontrava molhado. Como muita água ainda está presente na emulsão em estado líquido-viscoso a penetração desejada não ocorre, pois a própria pressão, por mais leve que seja, da segunda aplicação do ligante expelle parte do que já havia sido aplicado anteriormente. Ao contrário do que se espera, as taxas de impregnação e espessuras finais resultantes são inferiores aos do corpos de prova padrão. Em termos de permeabilidade e permissividade, com  $0,6\text{l/m}^2$  e  $1,4\text{mm}$ , foram alcançados os valores de  $10^{-2}\text{cm/s}$  e  $10^{-3}\text{cm/s}$ . O fluxo de água é da ordem de  $1500\text{l/min/m}^2/\text{m}$ .

Os resultados remetem novamente ao tempo de cura da emulsão e a formação de um filme contínuo de CAP junto ao geotêxtil. O resultado da permeabilidade do Grupo A ( $1,2 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ), com intervalo entre aplicações de 4 horas, é equivalente aquele alcançado para o Grupo B ( $1,6 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ), com 48 horas de secagem. Para estes dois exemplares, apesar de pertencerem a grupos diferentes, as taxas de impregnação são de  $1,3\text{l/m}^2$  e espessuras finais da ordem de  $1,70\text{mm}$ .

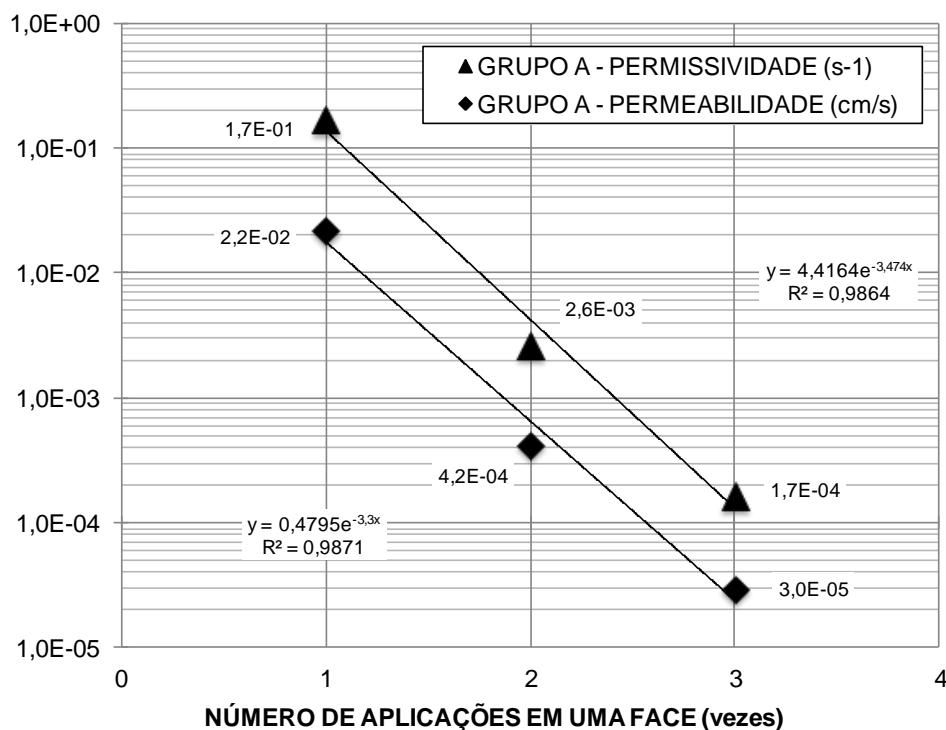
Diante do exposto, para a técnica de espalhamento é necessário um intervalo maior entre as aplicação de asfalto para a obtenção de uma manta mais impermeável. Aplicações seguidas de emulsão, não refletem maiores quantidades de asfalto

#### **5.4 NÚMERO DE APLICAÇÕES – GRUPO A**

A influência da quantidade de aplicações de emulsão nos corpos de prova, em somente uma das faces é mostrada no Gráfico 24.

As impregnações foram realizadas com intervalo padrão entre as aplicações de duas horas.

**Gráfico 24 – Influência do número de aplicações de emulsão em uma das faces do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A.**



O corpo de prova padrão recebeu 2 aplicações em uma das faces e resultou em valores intermediários, entre os que receberam somente 1 aplicação e os que receberam 3 aplicações. Dada a linha de tendência é possível perceber uma proporcionalidade nos resultados com o acréscimo de uma aplicação, para os mesmo intervalos de tempos entre aplicações e tempos de secagem.

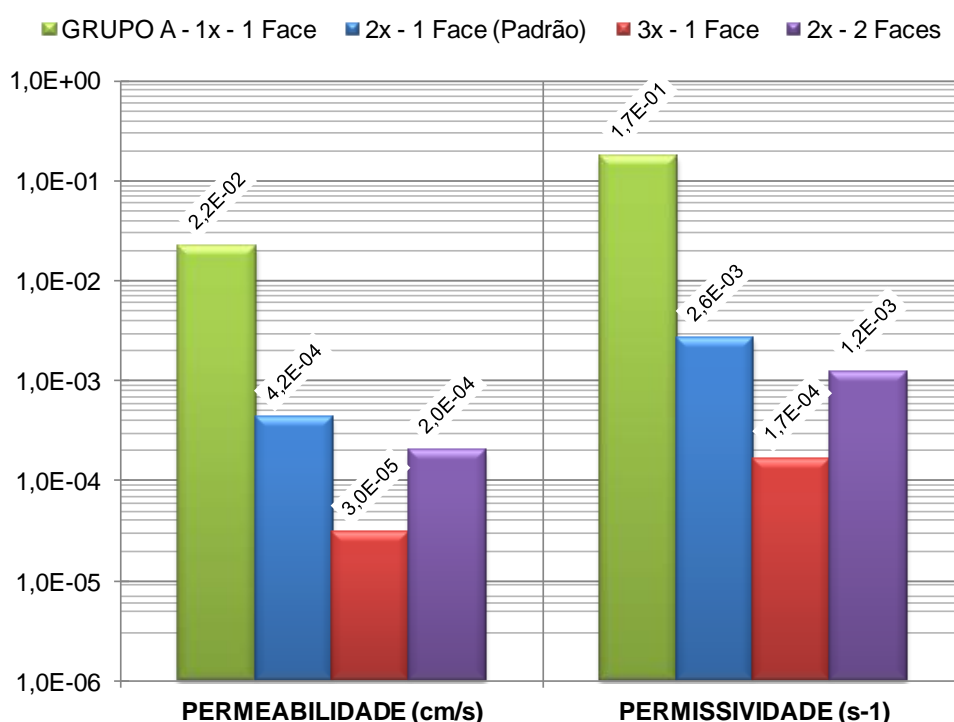
Por outro lado, os resultados das taxas de impregnação não se comportam de maneira proporcional. Com apenas 1 aplicação em uma das faces a taxa obtida foi de 0,5l/m², setenta por cento do valor da taxa da amostra padrão que é 0,7l/m². Com 3 aplicações em uma das faces a taxa de impregnação resulta no dobro do valor padrão com 1,4l/m².

As taxas de 1,4l/m² e espessura final de 1,82mm, obtidas em 3 aplicações de emulsão sobre a mesma face do corpo de prova de geotêxtil, superam os resultados obtidos para o Grupo A com intervalo entre aplicações de 4 horas e Grupo B com 48

horas de secagem. Consequência da taxa e espessura obtidas, a permeabilidade é da ordem de  $10^{-5}$  cm/s, sete vezes menor do que a encontrada para amostra padrão.

Uma avaliação importante dos resultados se dá ao considerar as aplicações de emulsão nas duas faces do corpos de prova, de acordo com os resultados apresentados no Gráfico 25. As permissividades e permeabilidades obtidas são próximas daquelas obtidas quando somente uma das face do geotêxtil é impregnada 2 vezes. Seus valores de  $1,2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  e  $2,0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  são pouco inferiores aos resultados do padrão para o Grupo A. A redução não pode ser considerada significativa.

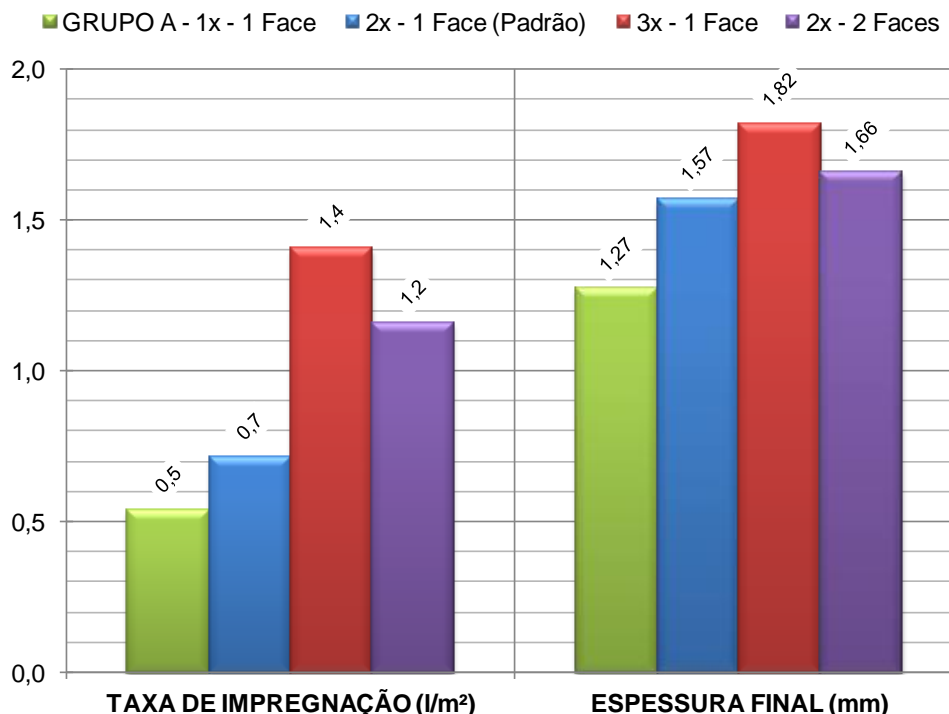
**Gráfico 25 – Influência do número de aplicações de emulsão em uma ou nas duas faces do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A.**



Os corpos de prova que receberam a emulsão em ambas as faces por 2 vezes, atingiram uma taxa de impregnação média de  $1,2 \text{ l/m}^2$  e espessura de  $1,66 \text{ mm}$ , conforme os dados representados no Gráfico 26. Levando em consideração os valores das taxas e espessuras do corpos de prova padrão do Grupos A, a taxa é setenta por cento superior e a espessura somente seis por cento maior. Considerando os resultados semelhantes de permissividade e permeabilidade, o aumento da taxa do ligante não fornece vantagem no

desempenho da manta como barreira impermeabilizante. Já as espessuras semelhantes, da ordem de 1,6mm para as diferentes taxas, indicam que houve uma maior penetração da emulsão no corpo de prova.

**Gráfico 26 – Influência do número de aplicações de emulsão em uma ou nas duas faces do geotêxtil nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo A.**



Uma observação importante remete ao fato de que, a emulsão utilizada no preparo dos corpos de prova impregnados 2 vezes nas 2 faces havia ultrapassado seu prazo de validade para utilização em dois meses. Talvez o envelhecimento da emulsão influencie no seu desempenho como material impermeabilizante quando associada ao geotêxtil. Contudo, um estudo específico deve ser desenvolvido para comprovação deste comportamento suposto.

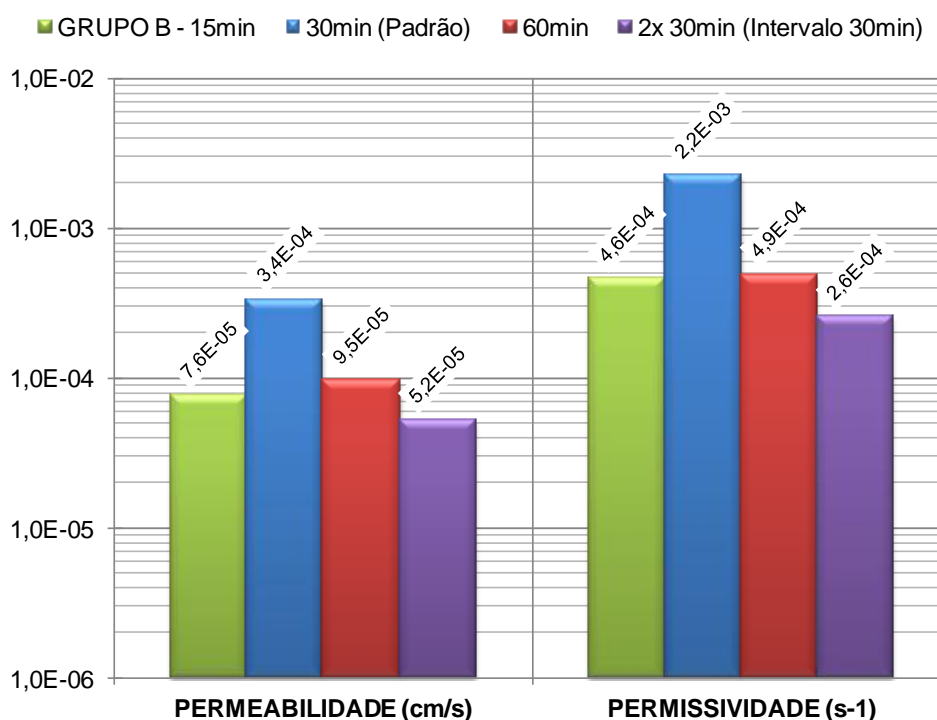
## 5.5 TEMPO E NÚMERO DE IMERSÕES – GRUPO B

Os corpos de prova do Grupo B tiveram seus tempos de imersão variados em 15, 30 e 60 minutos para uma avaliação deste aspecto de preparo nos resultados das taxas de impregnação, espessuras finais, permissividades e permeabilidades.

Também foram testados corpos de prova submetidos a 2 imersões de 30 minutos cada intercaladas por um tempo de secagem de meia hora.

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 27, o maior valor foi obtido com o procedimento de 2 imersões de trinta minutos cada, assim como a menor taxa de impregnação e espessura final, Gráfico 28.

**Gráfico 27 – Influência do tempo de imersão nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B.**

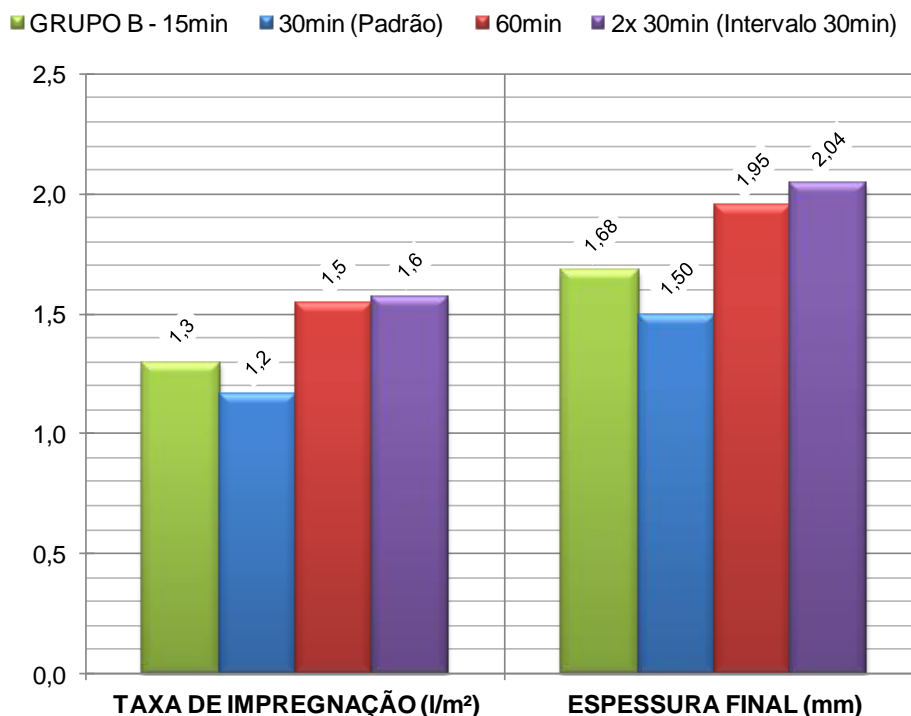


Comparando os resultados do corpo de prova submetido a uma única imersão de 60 minutos, com aquela que somadas as duas imersões também resulta em 60 minutos de impregnação, constata-se que as taxas de 1,5 e 1,6l/m<sup>2</sup> e espessuras de 1,95 e 2,04mm são relativamente próximas. Isto significa que, para o preparo por imersão intercalando a impregnação, com período de secagem, há uma melhoria em termos de impermeabilização, porém não pode ser considerada significativa.

Os resultados médios de permissividade e permeabilidade do corpo de prova imerso por 15 minutos contrastam com os valores do padrão para o Grupo B, imerso por 30 minutos, e se equiparam aos valores da imersão por 60 minutos. Não fossem os resultados do corpo de prova padrão, seria possível afirmar que o tempo de

impregnação por imersão exerce pouco influência na permeabilidade e na permissividade da manta com asfalto.

**Gráfico 28 – Influência do tempo de imersão nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo B.**



As taxas de impregnação para 15 e 60 minutos são 1,3 e 1,5l/m² e as espessuras 1,68 e 1,95mm, respectivamente. Neste caso, chama a atenção resultados praticamente iguais de permissividade e próximos de permeabilidade, tendo em vista os valores a impregnações e espessuras diferentes. Em relação ao padrão de 30 minutos, 1,3l/m² e 1,68mm podem ser considerados coerentes, pois são maiores e resultam num material mais impermeável.

Entretanto, se forem avaliadas as diferenças de taxas de impregnação e espessuras finais, considerando o tempo para que a penetração da emulsão ocorra no geotêxtil, aos 15 minutos a penetração é menor e resultado após a cura da emulsão é uma película superficial mais espessa de CAP, proporcionando maior impermeabilidade à manta.

Avaliando as anotações laboratoriais, não houve diferença de temperatura ambiente e nem umidade do ar no ato da impregnação dos corpos de prova, de 15,



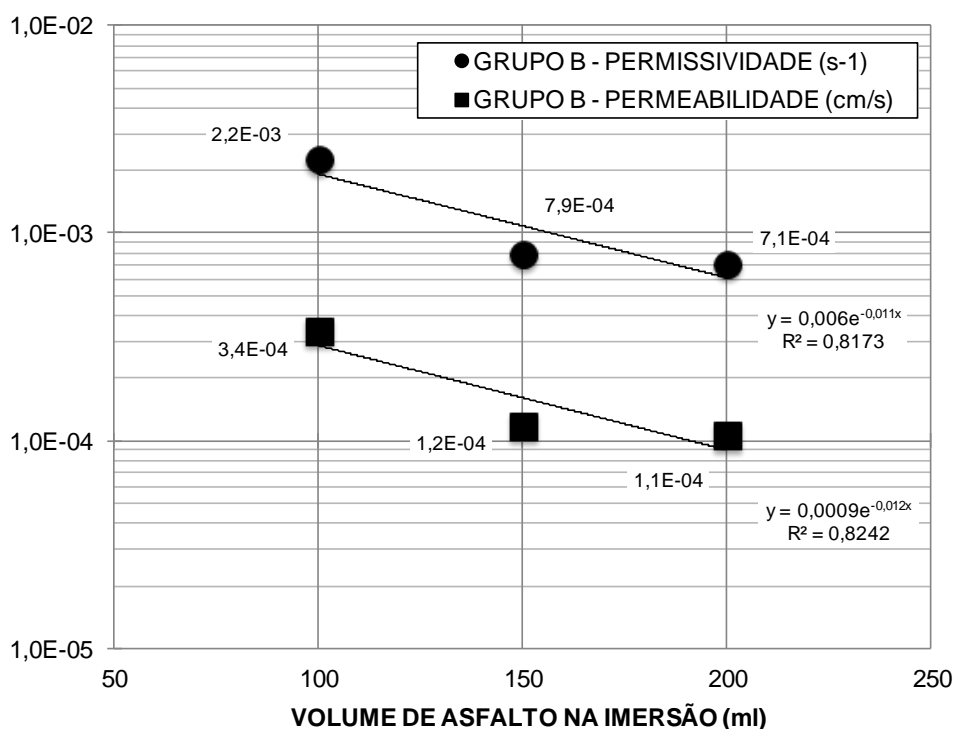
30 e 60 minutos, e todos foram preparados no mesmo dia. Aspectos que poderiam influenciar na cura da emulsão.

Outro aspecto avaliado, neste caso em que os resultados para 15 minutos foram melhores do que para 30 e equivalentes aos de 60 minutos, foram os resultados individuais de cada exemplar ensaiado (G.B. – 5A, G.B. – 5B e G.B. – 5C). Somente G.B. – 5C apresentou resultados de gramatura e taxa de impregnação próximos aos do corpos de prova padrão. Os demais resultados são valores coerentes com a média apresentada.

## 5.6 VOLUME DE ASFALTO NA IMERSÃO – GRUPO B

Os volumes de emulsão foram variados em 100, 150 e 200ml durante o processo de imersão com vistas a obtenção de parâmetros de comparação quanto ao desempenho da manta impregnada, conforme Gráfico 29.

**Gráfico 29 – Influência do volume de asfalto na imersão nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B.**



A variação da quantidade de asfalto não reflete diretamente em um aumento na taxa de impregnação, mas tem influência nas espessuras finais. Para o corpo de

prova padrão imerso em 100ml de asfalto, os valores obtidos foram 1,2l/m<sup>2</sup> e 1,50mm. Os testes com 150ml e com 200ml de emulsão resultaram em 1,1l/m<sup>2</sup> e 1,2l/m<sup>2</sup>, respectivamente, e ambos com 1,68mm de espessura final.

No que diz respeito às permissividades e permeabilidades, há uma redução destes valores com a utilização de 150ml de emulsão na imersão. Mas ao ser empregado um volume de 200ml, a diferença em relação aos dados de 150ml é mínima. Inclusive pode ser apontada uma certa estabilização nos resultados dos parâmetros para volumes acima de 150ml.

A adoção de maiores volumes de emulsão no processo de imersão do geotêxtil não resultam em uma manta necessariamente mais impregnada. Com volumes acima de 100ml, para 100cm<sup>2</sup> de geotêxtil com gramatura de 120g/m<sup>2</sup>, são obtidas mantas mais espessas, com impregnações equivalentes e permeabilidades e permissividades entorno de três vezes menores.

## **5.7 TIPO DE MATERIAL ASFÁLTICO – GRUPO A E GRUPO B**

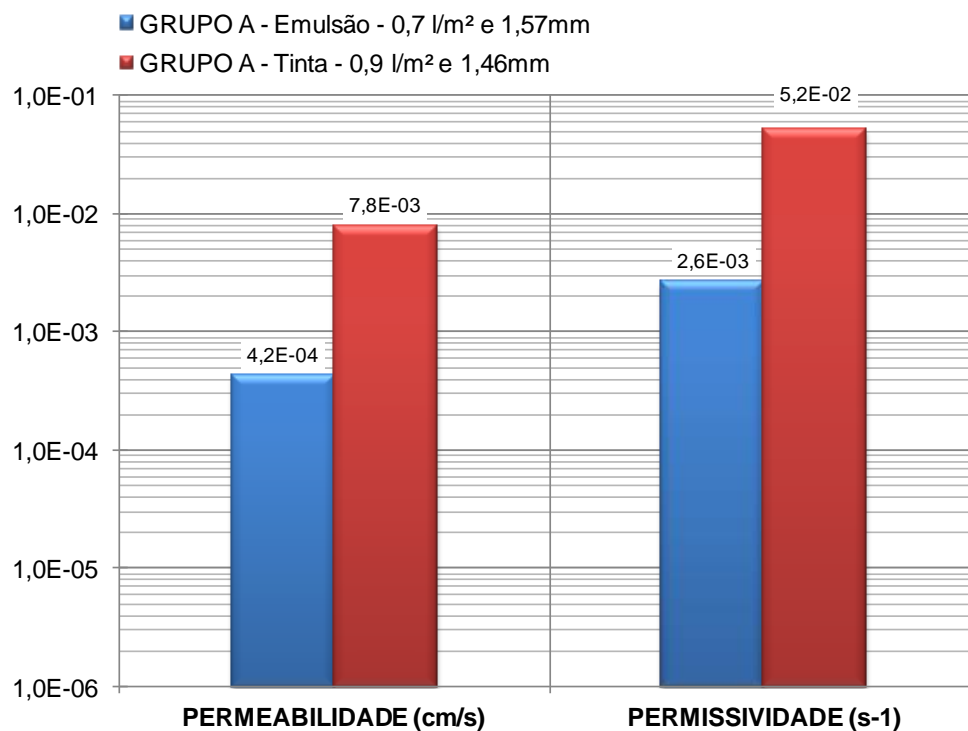
Os ensaios para o Grupo A foram realizados com emulsão asfáltica e tinta asfáltica, uma vez que o preparo utilizando asfaltos aquecidos foi possível somente para os exemplares do Grupo B (imersão).

Para a análise da influência do tipo de asfalto, é necessário ressaltar que nos cálculos das taxas de impregnação não foram feitas distinções das densidades de cada material. Foi empregado o valor único de 1000g/l.

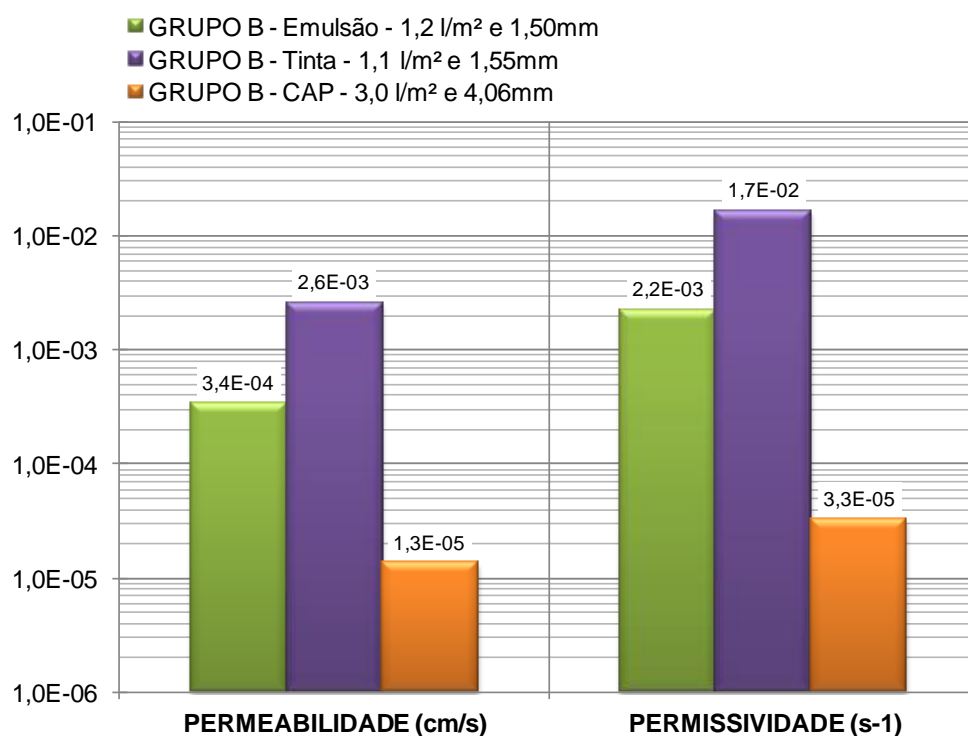
Dos resultados, apresentados no Gráfico 30, é possível concluir que o geotêxtil impregnado com a tinta asfáltica por espalhamento não se torna interessante quando se deseja obter uma manta impermeável. Apesar de apresentar uma taxa de impregnação superior ao padrão de comparação, a espessura final é inferior.

Para o Grupo B, além da tinta e emulsão asfálticas, foi possível produzir três exemplares impregnados com cimento asfáltico de petróleo aquecido a 108,8°C. Contudo, dadas as dificuldades em impregnar os corpos de prova com CAP, um exemplar foi separado para o ensaio utilizando tela de suporte da amostra. O resultado médio apresentado no Gráfico 31, é oriundo dos valores obtidos dos corpos de prova G.B. - 10A e G.B. - 10B.

**Gráfico 30 – Influência do tipo de material asfáltico nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A.**



**Gráfico 31 – Influência do tipo de material asfáltico nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B.**



Para a técnica de imersão, os valores de espessura final e taxa de impregnação obtidos para a emulsão e tinta asfáltica são similares, mas entre estes dois materiais a emulsão novamente se mostra um produto mais interessante em termos de impermeabilização.

Reflexo das taxas de impregnação e espessuras finais mais elevadas, para a tinta asfáltica aplicada por imersão as permissividades e permeabilidades são menores do que quando aplicadas por espalhamento. Porém, o aspecto de impermeabilização com valores da ordem de  $10^{-3}\text{cm/s}$  para permeabilidade equivalem a uma areia e não atendem os objetivos da pesquisa.

Os resultados alcançados com a impregnação por imersão com o CAP em relação à emulsão, da ordem de  $10^{-5}\text{cm/s}$   $10^{-5}\text{s}^{-1}$ , são vinte e cinco vezes menores para a permeabilidade e sessenta e oito vezes menores para a permissividade. Já a espessura final e taxa de impregnação equivalem ao dobro dos demais exemplares abordados até o momento.

Apesar da espessura resultar em 4,06mm, o corpo de prova apresentou flexibilidade, após os procedimentos de impregnação com o CAP e secagem por 24 horas, conforme ilustra a Figura 36.



**Figura 36 - Corpos de prova impregnados com CAP por imersão.**

O ponto de fusão do poliéster ocorre entre 250 e 270°C e a temperatura de transição vítrea entre 70 e 74°C. Os corpos de prova foram impregnados com CAP aos 108,8°C. Ultrapassando a transição vítrea, mas distante do ponto de fusão, observou-se que o geotêxtil de poliéster tende a se contrair ao entrar em contato

com o asfalto quente. Em temperaturas da ordem de 130°C, a aplicação do CAP faz com que o corpos de prova se reduza seu tamanho a metade do inicial.

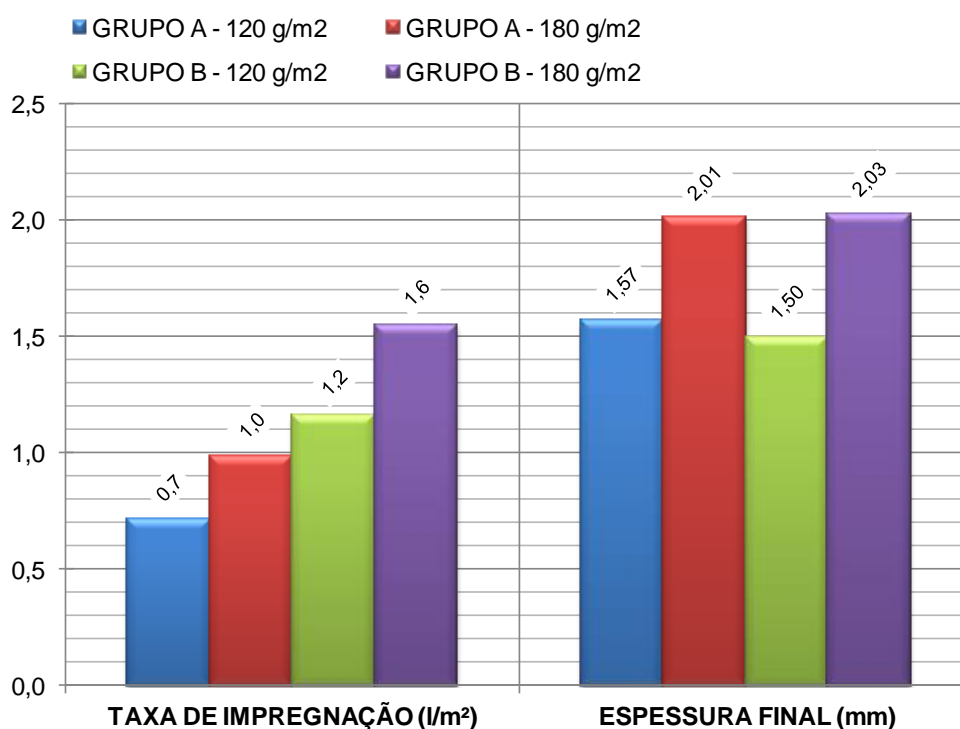
Portanto, para a impregnação de geotêxteis com asfaltos aquecidos o controle da temperatura é imprescindível para que a manta resulte em uma estrutura íntegra e passível de ser aplicada como barreira impermeabilizante.

## 5.8 GRAMATURA DO GEOTÊXTIL – GRUPO A E GRUPO B

As gramaturas dos geotêxteis foram variadas entre 120 e 180g/m<sup>2</sup> para as duas técnicas de impregnação com emulsão asfáltica.

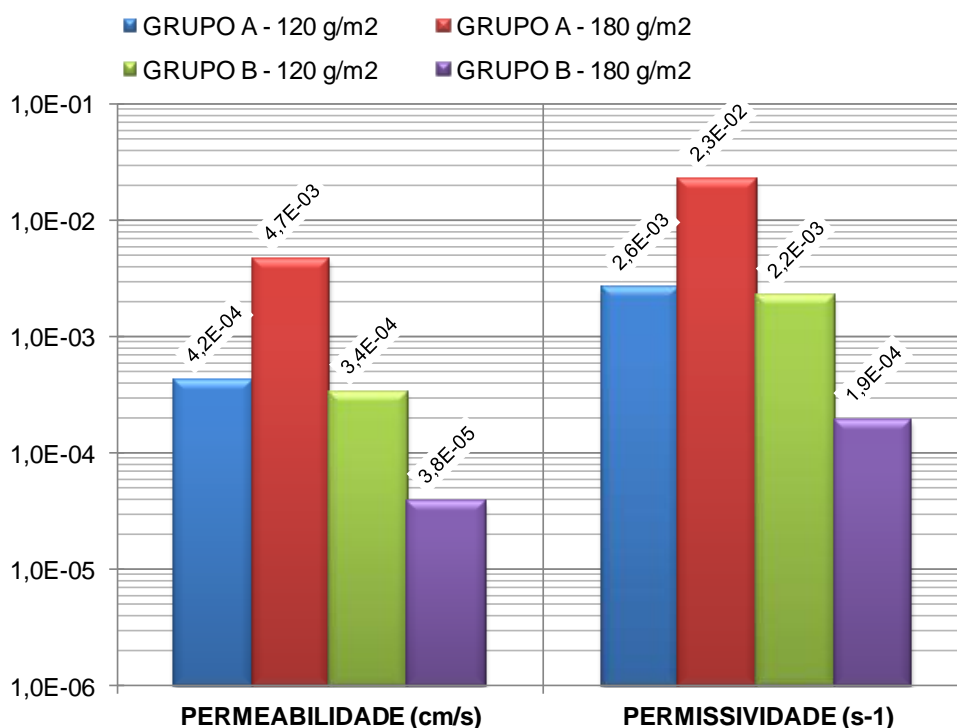
Independente da técnica, espalhamento ou imersão, as espessuras finais resultaram em aproximadamente 1,5mm e 2,0mm para os geotêxteis de 120 e 180g/m<sup>2</sup>, respectivamente. Por outro lado, a imersão impregna mais os geotêxteis, com valores de 1,2 e 1,6l/m<sup>2</sup> para 120 e 180g/m<sup>2</sup>. A técnica de espalhamento com rolo alcança valores de 0,7 e 1,0l/m<sup>2</sup> para 120 e 180g/m<sup>2</sup>. No Gráfico 32 é possível visualizar o efeito das técnicas diferenciais frente aos geotêxteis de diferentes gramaturas.

**Gráfico 32 – Influência da gramatura do geotêxtil nos resultados das taxas de impregnação e espessuras finais do Grupo A e Grupo B.**



Dadas as espessuras finais similares de 2,0mm (Gráfico 32), nesta rodada de ensaios é possível constatar que as mantas de geotêxtil de gramatura 180g/m<sup>2</sup> necessitam de uma impregnação 60% maior, independente da técnica de aplicação, para se obter resultados de permeabilidades e permissividades com vezes menores (Gráfico 33). Para os geotêxteis com 120g/m<sup>2</sup> o teor 60% maior, independente da técnica e para as espessuras semelhantes de 1,50mm, não resulta em valores de permeabilidade e permissividade significativamente diferentes. Portanto, as mantas com gramaturas de 180g/m<sup>2</sup> são mais sensíveis as taxas de impregnação quando comparadas as de 120g/m<sup>2</sup>.

**Gráfico 33 – Influência da gramatura do geotêxtil nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A e Grupo B.**



O Gráfico 33 indica nos resultados das permissividades e permeabilidades que as mantas com gramatura superior influenciaram de maneira oposta nestes valores, de acordo com a técnica de impregnação adotada. Para o Grupo A os resultados foram dez vezes maiores e para o Grupo B foram dez vezes menores. Porém, as mantas de 180g/m<sup>2</sup> são mais espessas e pesadas e a técnica de espalhamento não atingiu um grau de impregnação tal para a obtenção de resultados satisfatórios. Provavelmente um número maior de aplicações de emulsão

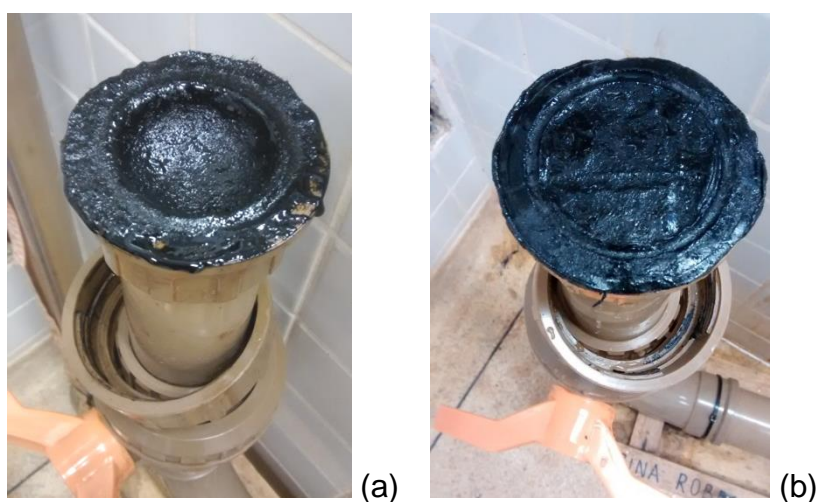
por espalhamento ou um tempo maior de intervalo entre aplicações, atingindo taxas de  $1,3\text{l/m}^2$ , resultará em permissividades da ordem de  $10^{-3}\text{s}^{-1}$  e permeabilidades  $10^{-4}\text{cm/s}$ . Contudo, esta suposição deverá ser verificada.

## 5.9 ENSAIO COM TELA DE SUPORTE – GRUPO A E GRUPO B

O uso da tela durante os ensaios remete a uma condição em que não ocorra qualquer deformação da manta. Supõe que o geotêxtil esteja totalmente apoiado em uma superfície contínua, sem vazios ou irregularidades, tal como uma camada de areia ou solo compactado. A não utilização da tela impõe uma condição mais severa, na qual a manta quando apoiada, por exemplo, sobre uma camada de material granular com regiões de vazios pontuais desenvolva alguma deformação com a consequente redução em seu desempenho.

A elevada carga de água de até 1,80m de altura na qual o corpos ensaiados foram submetidos sem a tela de suporte provocou deformações na manta, mas em nenhum caso houve um rompimento.

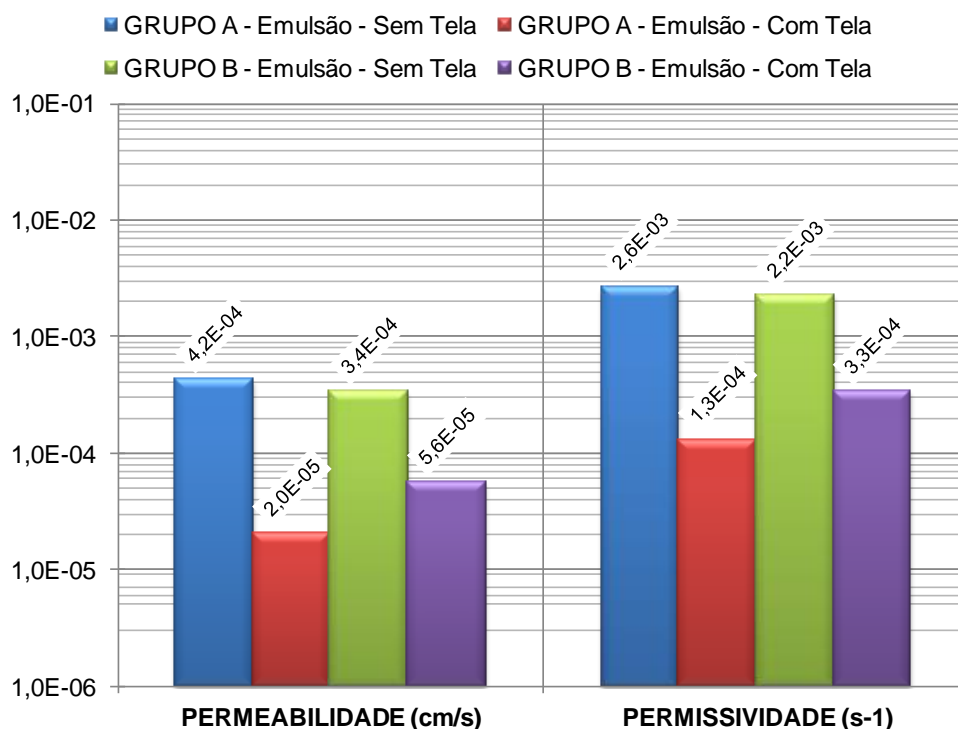
Observando a Figura 37 que ilustra os corpos de prova após o ensaio com e sem a tela, nota-se que naquele em que a tela não foi empregada a matriz do geotêxtil se torna mais evidente, pois ocorre um alongamento das fibras e redução da espessura.



**Figura 37 – Diferença entre os corpos de prova, após o ensaio com elevada carga hidráulica:**  
**(a) sem a tela de suporte; (b) com a tela de suporte.**

O Gráfico 34 exibe os resultados dos ensaios realizados para os exemplares do Grupo A e Grupo B impregnados com emulsão asfáltica. Os exemplares mais espessos impregnados por imersão são menos suscetíveis aos efeitos da deformação do que aqueles impregnados por espalhamento, pois demonstram uma menor sensibilidade ao uso da tela.

**Gráfico 34 – Influência da utilização de tela de suporte durante os ensaios nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo A e Grupo B, com emulsão asfáltica.**



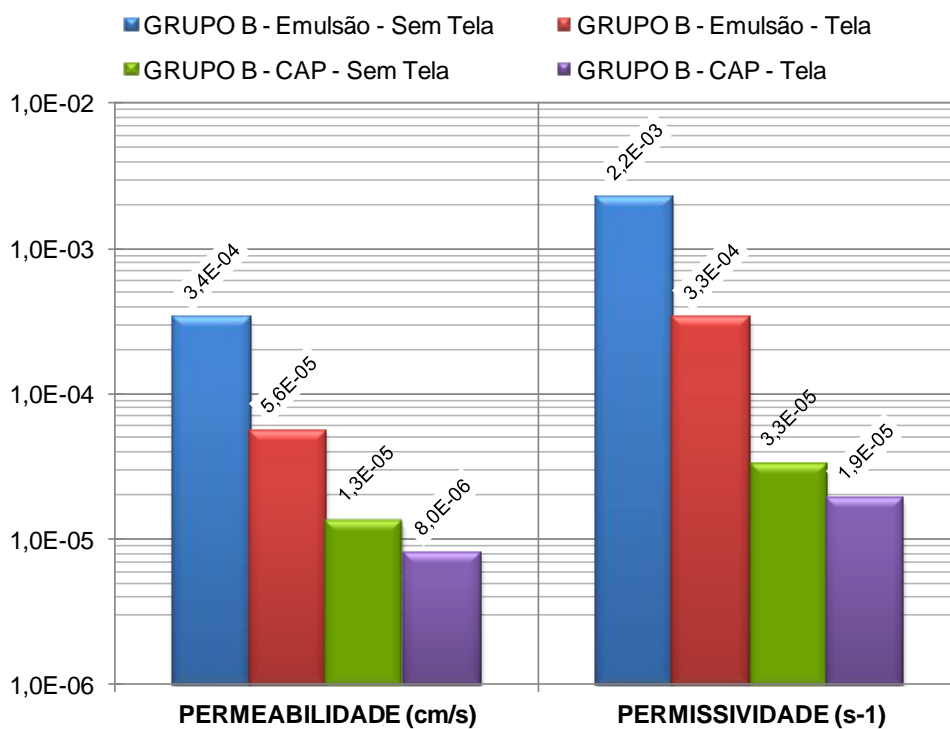
O Grupo A com o uso da tela resultou em uma permissividade vinte vezes menor e o Grupo B seis vezes e meio menor. A permeabilidade para o Grupo A foi vinte e uma vezes menor e seis vezes menor para o Grupo B.

As amostras ensaiadas com e sem o uso da tela cujos resultados constam no Gráfico 34 foram igualmente preparadas e, portanto, seus valores de taxa de impregnação e espessuras são semelhantes.

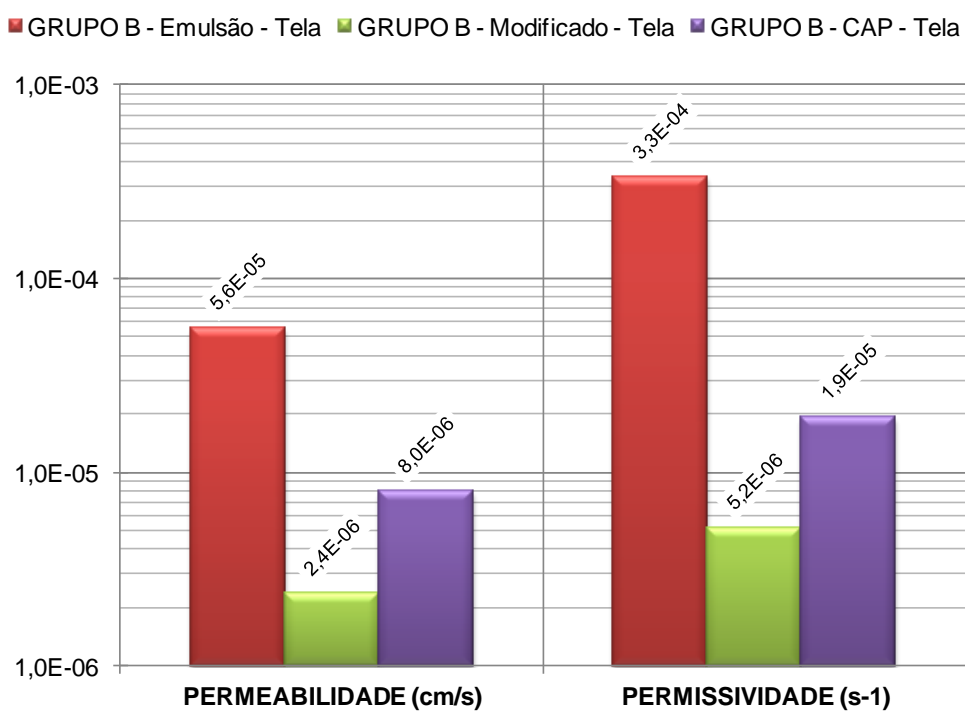
Os geotêxteis impregnados por imersão com cimento asfáltico de petróleo também foram ensaiados das duas maneiras propostas nesta pesquisa. O uso da tela influencia menos quando o material asfáltico é o CAP, pois apresenta uma variação nos resultados das permissividades e permeabilidades pequena quando comparado com a emulsão aplicada por imersão, conforme Gráfico 35.



**Gráfico 35 – Influência da utilização de tela de suporte durante os ensaios nos resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B, com emulsão asfáltica e CAP.**

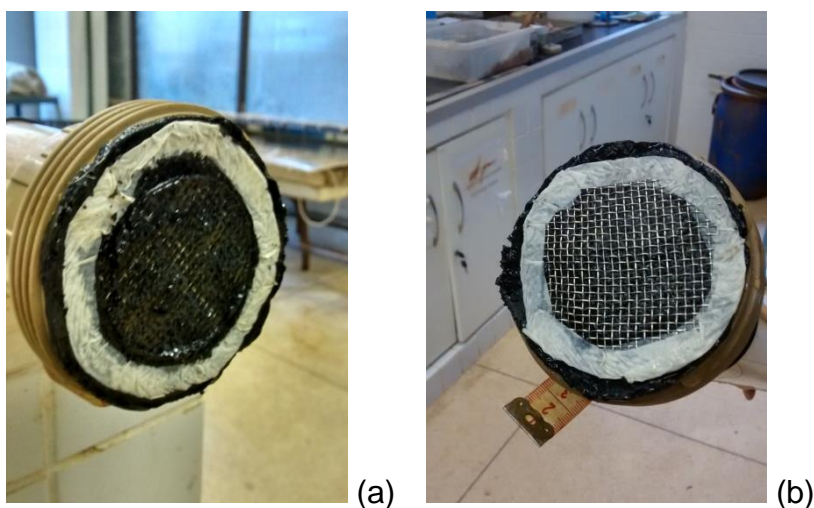


**Gráfico 36 – Resultados das permissividades e permeabilidades do Grupo B, com emulsão asfáltica, CAP e asfalto modificado, utilizando a tela de suporte durante os ensaios.**



Somente um corpo de prova foi impregnado com asfalto modificado e ensaiado utilizando a tela de suporte, o corpo de prova designado G.B. - 10C. Os resultados de taxa de impregnação e espessura final obtidos foram de 2,6l/m<sup>2</sup> e 4,19mm, podendo serem considerados similares aos valores obtidos com o CAP. Os valores de permissividade e permeabilidade resultaram da ordem 10<sup>-6</sup> e podem ser comparados com os demais exemplares do Grupo B no o Gráfico 36.

Os aspectos dos corpos de prova de CAP e de asfalto modificado podem ser observados na Figura 38. Ao contrário do CAP, o corpo de prova com asfalto modificado aderiu à tela. Isto ocorreu em virtude das características dos asfalto modificado de alta flexibilidade.



**Figura 38 – Tela de suporte após o ensaio: (a) asfalto modificado com polímero; (b) cimento asfáltico de petróleo.**

Para todos os casos em que foi utilizada a tela, independente do tipo de metodologia de impregnação, empregando emulsão asfáltica ou cimento asfáltico, os resultados demonstraram um melhor desempenho da manta em termos de impermeabilidade. O geotêxtil impregnado por espalhamento com emulsão foi o que apresentou maior sensibilidade ao uso da tela. Para o asfalto modificado não foi possível realizar uma comparação, pois somente um exemplar foi preparado e ensaiado, dadas as dificuldades de confecção do corpo de prova com este material.

Como os geotêxteis e os asfaltos são materiais compressíveis, quando aplicado um esforço normal como neste caso a carga hidráulica, sem que o corpo de prova se deforme, as propriedades hidráulicas tendem a decrescer como comprovado nos resultados dos ensaios realizados.

Não é objetivo desta pesquisa quantificar as deformações do geotêxtil impregnado com asfalto, somente obter uma referência, mesmo que simplificada, para dois tipos de situações as quais a manta poderá estar exposta.

## 5.10 PERMISSIVIDADES

Todos os resultados médios obtidos de permissividade, para o mesmo tipo de asfalto e mesma gramatura do geotêxtil ensaiados sem a tela de suporte, versus as espessuras finais foram plotados no Gráfico 37 para o Grupo A e no Gráfico 38 para o Grupo B.

Analizando as linhas de tendência exponenciais obtidas a partir dos resultados, nota-se que para a técnica de imersão esta é bem mais suave do que aquela resultante para a técnica de espalhamento. Os valores das permissividades variam menos para o Grupo B do que quando a impregnação se dá por espalhamento no Grupo A.

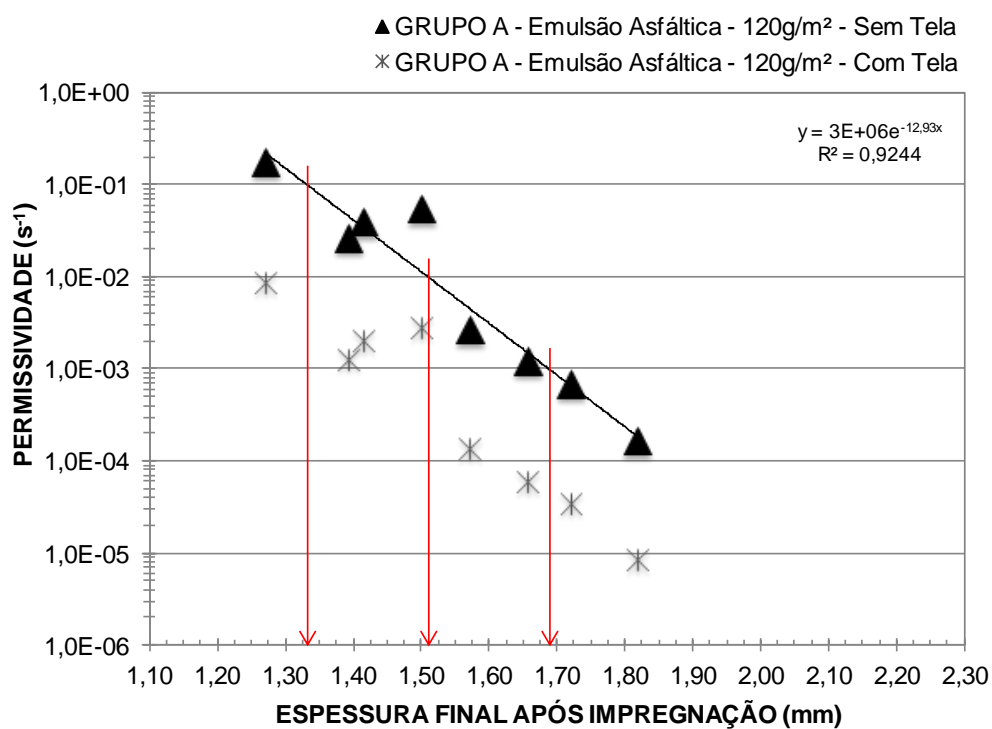
Dadas as diversas variações realizadas nesta pesquisa, no preparo dos corpos de prova, fica evidente que controlar as espessuras finais através da técnica de espalhamento é mais simples do que através do preparo por imersão.

No Grupo B as espessuras finais são sempre mais elevadas e, por consequência, os menores resultados de permissividades são alcançados. Para espessuras variando entre 1,60mm e 2,05mm, todas as permissividades resultantes são da ordem de  $10^{-4}\text{s}^{-1}$ . Somente um caso fugiu a regra com espessura de 1,50mm e permissividade  $10^{-3}\text{s}^{-1}$ .

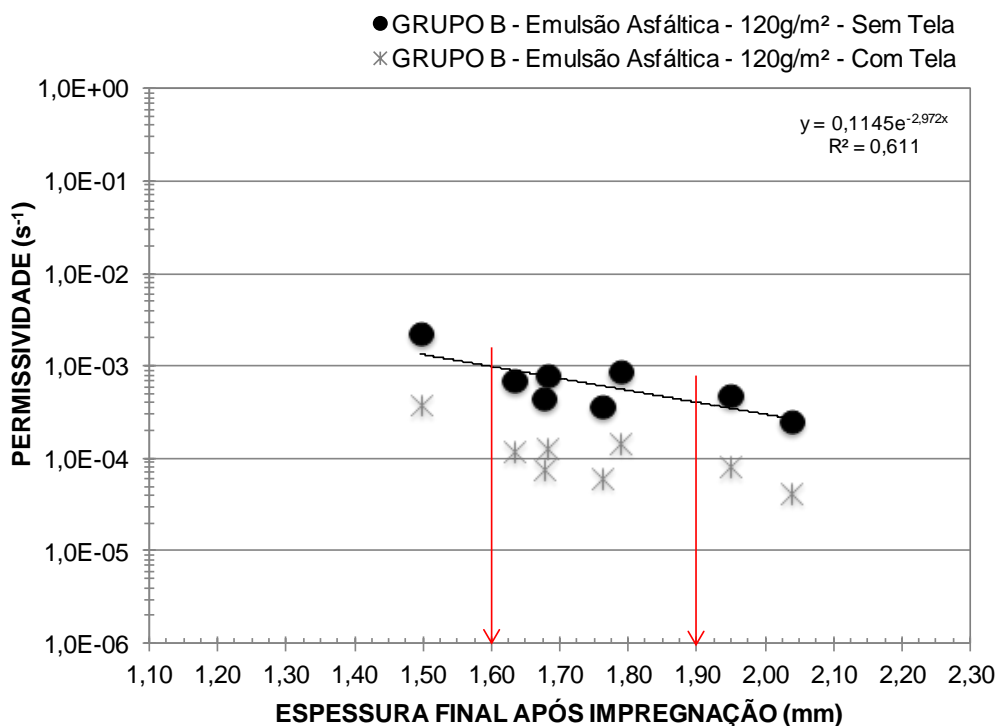
Considerando a redução nos valores de permissividade obtidos nos ensaios em que não houve a deformação do corpos de prova (ensaios com tela), os valores podem ser reduzidos pelo menos seis vezes, mantendo suas espessuras finais. Então, para espessuras até 1,60mm os valores resultantes seriam da ordem de  $10^{-4}\text{s}^{-1}$  e para espessuras acima de 1,60mm poderiam variar entre  $10^{-4}\text{s}^{-1}$  e  $10^{-5}\text{s}^{-1}$ .

Para o Grupo A é possível estabelecer ao menos quatro faixas de espessuras em relação aos valores das permissividades. Até aproximadamente 1,30mm os valores são da ordem de  $10^{-1}\text{s}^{-1}$ , entre 1,30 e 1,50mm são  $10^{-2}\text{s}^{-1}$ , de 1,50 até 1,70mm da ordem de  $10^{-3}\text{s}^{-1}$ , acima de 1,70mm alcançam os  $10^{-4}\text{s}^{-1}$ . Estes valores, de acordo com a relação encontrada nos ensaios com a tela de suporte, podem ser reduzidos em vinte vezes, chegando a resultados entre  $10^{-3}\text{s}^{-1}$  e  $10^{-6}\text{s}^{-1}$ .

**Gráfico 37 – Resultados das permissividades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.**



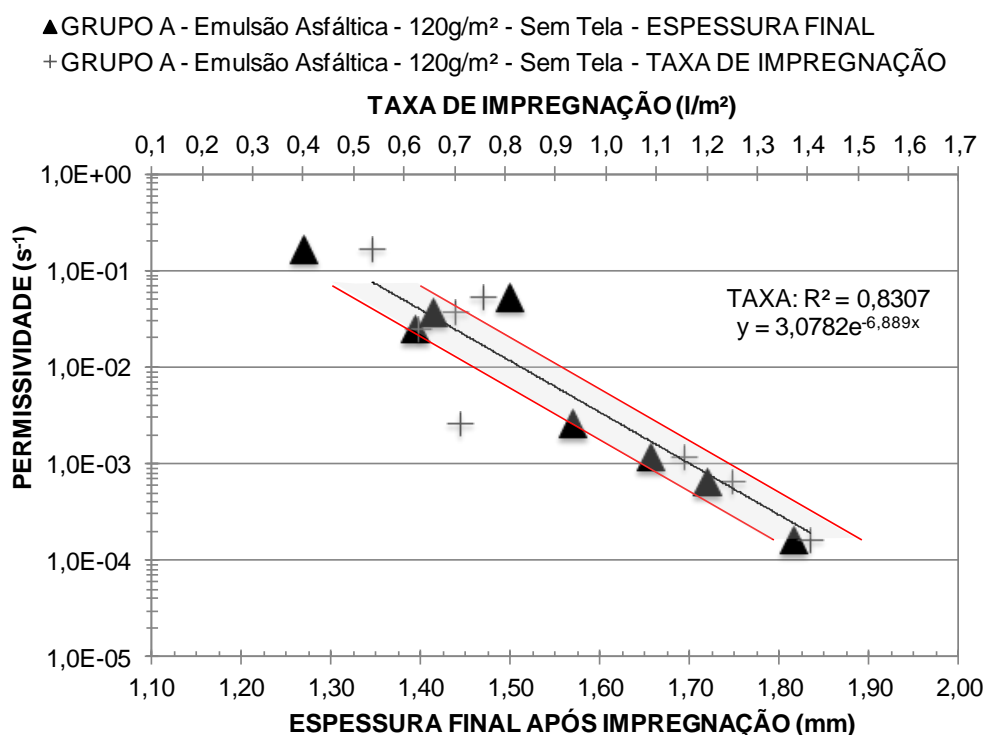
**Gráfico 38 – Resultados das permissividades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.**



Porém, a indicação dos valores de permissividade esperados para a manta de geotêxtil impregnada deve considerar não somente as espessuras finais obtidas, mas também as taxas do ligante asfáltico aplicado. Para isto, os dados das permissividades foram cruzados com os das espessuras finais e taxas de impregnação, conforme apresentado no Gráfico 39 para o Grupo A e no Gráfico 40 para o Grupo B.

Ao analisarmos as três informações em conjunto é possível estabelecer uma faixa de valores, que segue o alinhamento da linha de tendência para os valores das taxas de impregnação, e que considera espessuras finais e taxas de impregnação para uma dada cada permissividade resultante.

**Gráfico 39 – Resultados das permissividades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação.**



Reunindo as informações dos gráficos que apresentam os resultados para o Grupo A, foi possível estabelecer uma ordem de grandeza considerando limites superiores e inferiores, para os valores de interesse, que podem ser adotados como uma referência em trabalhos futuros ou dimensionamentos de projetos com o uso da manta impregnada. A Tabela 30 apresenta os dados mencionados.

**Tabela 30 – Valores de referência para permissividades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica.**

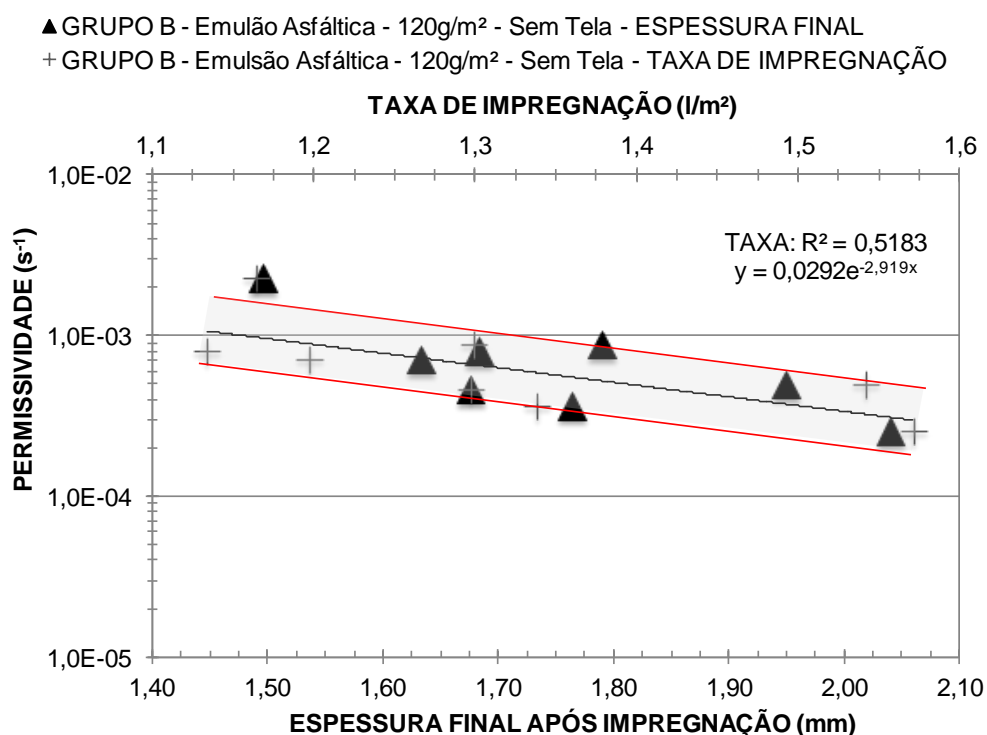
IMPREGNAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLICA POR ESPALHAMENTO (*)			
$\Psi$ (s <sup>-1</sup> ) (**)		ESPESSURAS FINAS (mm)	TAXA DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )
COM DEFORMAÇÃO	SEM DEFORMAÇÃO		
1 a 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-3</sup>	1,20 a 1,30	0,30 a 0,45
10 <sup>-1</sup> a 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-3</sup>	1,30 a 1,50	0,45 a 0,80
10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	1,50 a 1,70	0,80 a 1,15
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-6</sup>	1,70 a 1,90	1,15 a 1,50

(\*) Valores para geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup>.

(\*\*) Valores obtidos para elevada carga hidráulica, da ordem de 1,75m.

Para o Grupo B, analisando o Gráfico 40, para uma espessura variando de 1,60mm até 2,10mm e as taxas de 1,25l/m<sup>2</sup> até 1,55l/m<sup>2</sup> os resultados das permissividades são todos da ordem de 10<sup>-4</sup>s<sup>-1</sup> com a ocorrência de deformação. Sem a deformação há uma subdivisão que pode ser considerada, conforme apresenta a Tabela 31.

**Gráfico 40 – Resultados das permissividades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação.**



**Tabela 31 – Valores de referência para permissividades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica.**

IMPREGNAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLICA POR IMERSÃO <sup>(*)</sup>			
$\Psi$ (s <sup>-1</sup> ) <sup>(**)</sup>		ESPESSURAS FINAS (mm)	TAXA DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )
COM DEFORMAÇÃO	SEM DEFORMAÇÃO		
10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-4</sup>	1,40 a 1,60	1,10 a 1,25
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	1,60 a 1,90	1,25 a 1,45
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	1,90 a 2,10	1,45 a 1,60

(\*) Valores para geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup>.

(\*\*) Valores obtidos para elevada carga hidráulica, da ordem de 1,75m.

Somente foram considerados nestas análises os resultados que podem ser comparados entre si, pois outros tipos de asfalto ou outra gramatura do geotêxtil são variações específicas em que a influência nos resultados foram discutidas anteriormente.

## 5.11 PERMEABILIDADES

Do mesmo modo que foram tratados os dados de permissividades, as permeabilidades tiveram seus resultados comparados com as taxas de impregnação e espessuras finais, com vistas a obtenção de valores de referência dentro dos limites reconhecidos nesta pesquisa.

Conforme os resultados médios plotados do Gráfico 41 ao Gráfico 44, o comportamento das permeabilidades se assemelha aos da permissividade, porém com ordem de grandeza diferencia.

Para o Grupo A é possível estabelecer quatro faixas de espessuras em relação aos valores das permeabilidades. Entre 1,25 e 1,35mm os valores são da ordem de 10<sup>-2</sup> cm/s, entre 1,35 e 1,55mm são 10<sup>-3</sup>cm/s, de 1,55 até 1,75mm da ordem de 10<sup>-4</sup>cm/s, acima de 1,75mm alcançam os 10<sup>-5</sup>cm/s.

No Grupo B as faixas foram estabelecidas entre 1,45 e 1,55m com permeabilidades 10<sup>-4</sup>cm/s, de 1,55 até 1,85mm com variação de 10<sup>-3</sup>cm/s até 10<sup>-5</sup>cm/s, e acima de 1,85mm com 10<sup>-5</sup>cm/s.

Considerando as reduções, segundo os fatores obtidos nos ensaios com o uso da tela de suporte, para o Grupo A os resultados das permeabilidades foram reduzidos em vinte vezes e para o Grupo B em seis vezes. Com isso, para o Grupo

A foram estimados os resultados sem deformação entre  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  cm/s e para o grupo B entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s.

Os valores de referência definidos para os resultados de permeabilidades do grupo A são apresentados na Tabela 32.

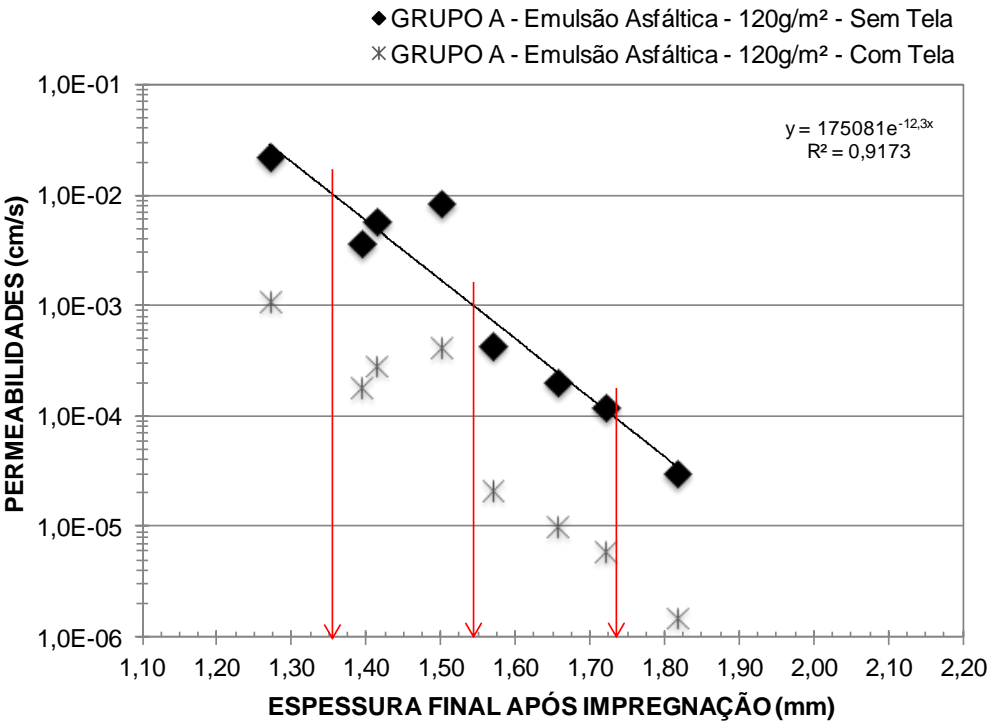
**Tabela 32 – Valores de referência para permeabilidades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica.**

IMPREGNAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA POR ESPALHAMENTO (*)			
Kn (cm/s) (**)		ESPESSURAS FINAS (mm)	TAXA DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )
COM DEFORMAÇÃO	SEM DEFORMAÇÃO		
$10^{-1}$ a $10^{-2}$	$10^{-2}$ a $10^{-3}$	1,25 a 1,35	0,35 a 0,50
$10^{-2}$ a $10^{-3}$	$10^{-3}$ a $10^{-4}$	1,35 a 1,55	0,50 a 0,90
$10^{-3}$ a $10^{-4}$	$10^{-4}$ a $10^{-6}$	1,55 a 1,75	0,90 a 1,30
$10^{-4}$ a $10^{-5}$	$10^{-5}$ a $10^{-6}$	1,75 a 1,85	1,30 a 1,45

(\*) Valores para geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup>.

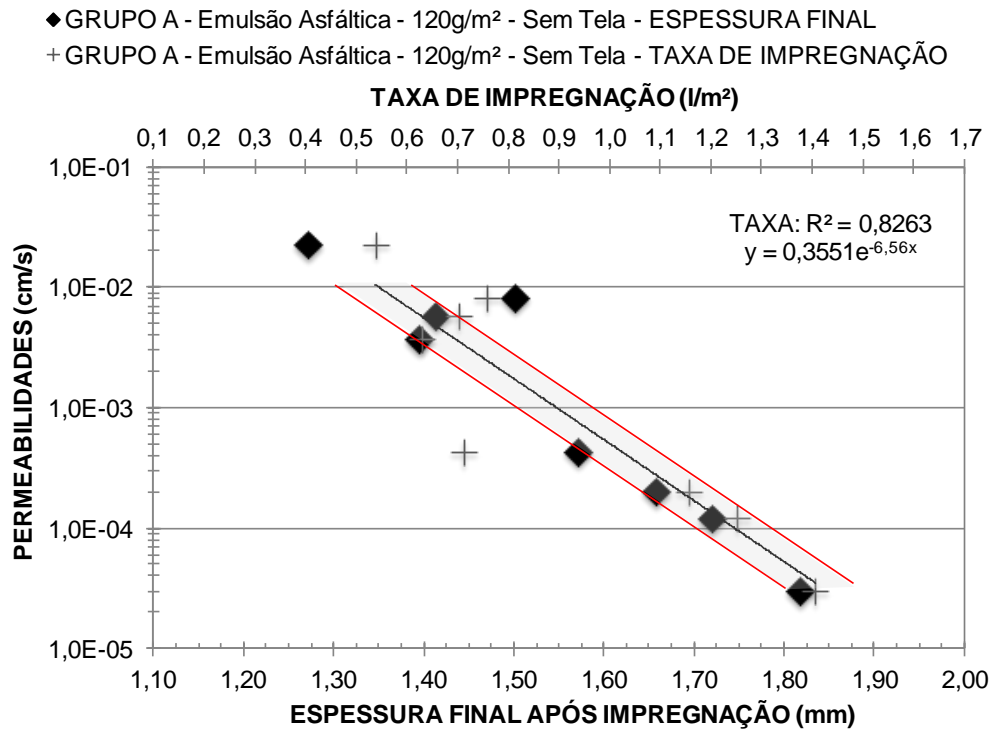
(\*\*) Valores obtidos para elevada carga hidráulica, da ordem de 1,75m.

**Gráfico 41 – Resultados das permeabilidades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais após impregnação.**

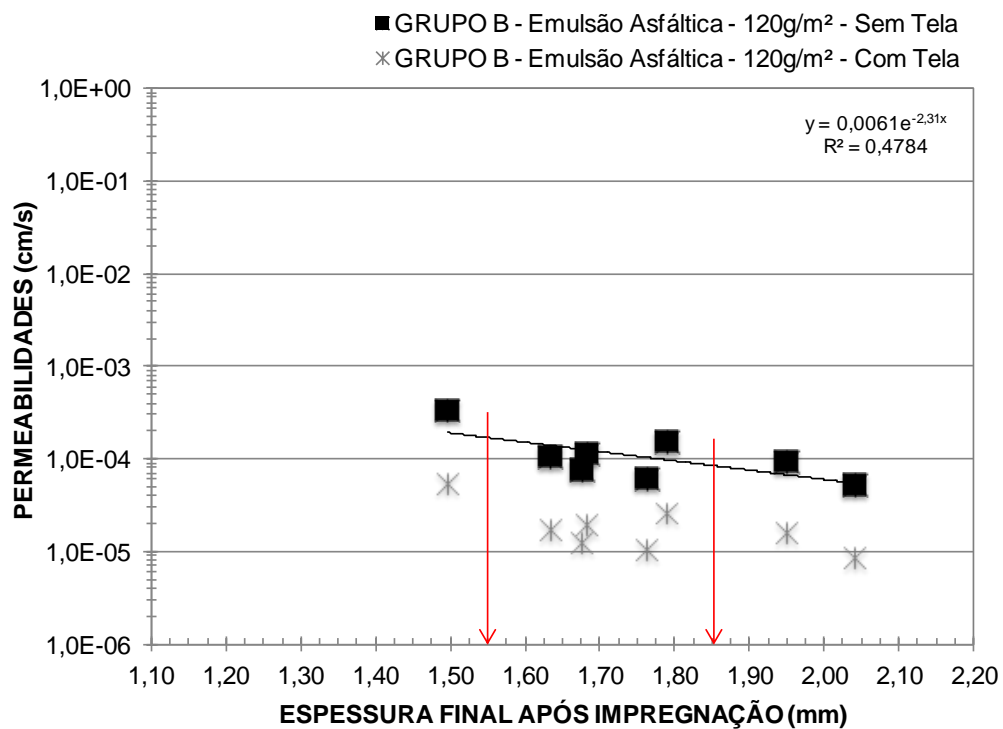




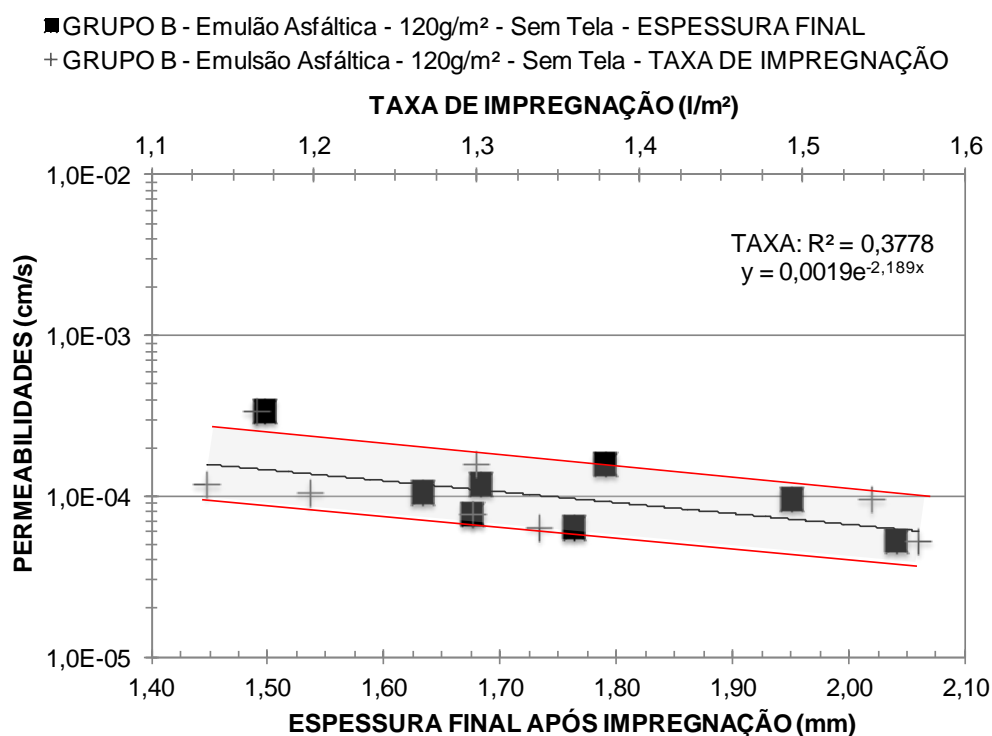
**Gráfico 42 – Resultados das permeabilidades do Grupo A, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m² e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação.**



**Gráfico 43 – Resultados das permeabilidades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m² e tela, versus espessuras finais após impregnação.**



**Gráfico 44 – Resultados das permeabilidades do Grupo B, com uso de emulsão asfáltica, gramatura 120g/m<sup>2</sup> e tela, versus espessuras finais e taxas de impregnação.**



Os valores de referência definidos para os resultados de permeabilidades do grupo A são apresentados na Tabela 33.

**Tabela 33 – Valores de referência para permeabilidades, espessuras finais e taxas de impregnação, dos geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica.**

IMPREGNAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLICA POR IMERSÃO (*)			
Kn (cm/s) (**)		ESPESSURAS FINAS (mm)	TAXA DE IMPREGNAÇÃO (l/m <sup>2</sup> )
COM DEFORMAÇÃO	SEM DEFORMAÇÃO		
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	1,45 a 1,55	1,10 a 1,30
10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	1,55 a 1,85	1,30 a 1,40
10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-6</sup>	1,85 a 2,10	1,40 a 1,60

(\*) Valores para geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup>.

(\*\*) Valores obtidos para elevada carga hidráulica, da ordem de 1,75m.

## 6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa contemplou ensaios de permissividade em setenta corpos de prova de geotêxteis não tecidos de poliéster impregnados com quatro diferentes tipos de asfalto. Os asfaltos foram aplicados sob diferentes condições e os testes realizados para uma elevada carga hidráulica. As principais conclusões obtidas a partir dos resultados desta pesquisa são discutidas na sequência.

O tempo influencia nos resultados das permissividades e permeabilidades da manta impregnada, seja por espalhamento ou por imersão utilizando a emulsão asfáltica. Recomenda-se o período de 3 dias, até que a emulsão asfáltica esteja totalmente curada e solidarizada ao geotêxtil.

Para a técnica de espalhamento, considerando que somente duas aplicações de emulsão asfáltica serão realizadas para a impregnação da manta, o ideal é que o intervalo de tempo entre cada aplicação da emulsão seja igual ou superior a 4 horas. O resultado é uma manta mais impermeável, reflexo das maiores taxas de impregnação e espessura alcançadas. Aplicações sucessivas, com intervalos inferiores a 2 horas, prejudicam os resultados de permeabilidade e permissividade.

Bons resultados podem ser obtidos ao se aumentar o número de aplicações por espalhamento de emulsão asfáltica para três repetições ao invés de somente duas. Neste caso, o intervalo de tempo entre cada aplicação poderá ser de no mínimo 2 horas.

O procedimento de impregnação por espalhamento da emulsão asfáltica nas duas faces do geotêxtil resulta em um aumento da taxa do ligante, mas não em sua espessura final, indicando a obstrução de vazios existentes. Com isso, os resultados de permissividade e permeabilidade são ligeiramente inferiores aos obtidos quando a aplicação é realizada em somente uma das faces da manta.

Para a técnica de imersão em emulsão, não há diferença significativa nos resultados quando se realiza uma única imersão de 60 minutos total ou duas imersões de 30 minutos cada, intercalada por um tempo de secagem de meia hora. Os resultados das permissividades e permeabilidades são equivalentes, inclusive as taxas de impregnação e espessuras finais.

Em contrapartida, quando a imersão com emulsão é empregada, o tempo de 30 minutos pode ser considerado um limiar. Com 15 minutos de imersão os resultados são equivalentes à imersão de 60 minutos. Porém as taxas e espessuras

são diferenciadas, devido ao tempo necessário para ocorra a penetração da emulsão na manta.

O aumento do volume de emulsão asfáltica durante a imersão, para uma mesma área de geotêxtil, somente eleva a espessura final sem contribuição nas taxas de impregnação.

Para ambas as técnicas de impregnação a tinta asfáltica apresentou valores elevados de permeabilidade e permissividade. Os resultados são equivalentes aos obtidos para emulsão aplicada em uma só face ou com intervalo entre impregnações inferiores a 2 horas.

A impregnação com o CAP só foi possível através da técnica de imersão com resultados da ordem de  $10^{-5}$  cm/s. O controle da temperatura nestes casos é muito importante, pois o geotêxtil de 120g/m<sup>2</sup> apresentou sensibilidade a este aspecto. As temperaturas de aplicação da ordem de 100°C são toleráveis. Com 130°C houve praticamente uma desintegração dos corpos de prova.

Mantas de geotêxtil com gramatura 180g/m<sup>2</sup> são mais sensíveis às taxas de impregnação do que os geotêxteis com 120g/m<sup>2</sup>. Os resultados indicam que é possível reduzir os valores das permissividades e das permeabilidades em até cem vezes ao aumentar em 60% a taxa de impregnação com emulsão asfáltica. Isto ocorre independentemente da técnica de aplicação e para espessuras finais semelhantes. Porém, sob as mesmas condições, para o geotêxtil com gramatura 120g/m<sup>2</sup> o aumento da taxa não resulta necessariamente em melhores resultados.

Os corpos de prova ensaiados sem o uso da tela de suporte apresentaram deformação, mas em nenhum caso houve o rompimento. As deformações devem ser dependentes das descargas hidráulicas impostas.

Quando ocorreram deformações nas mantas impregnadas por espalhamento, os valores de permissividade e permeabilidade resultaram em vinte vezes menores. Já os resultados para a técnica de imersão, para a mesma condição, ficaram entorno de seis menos.

O CAP e o asfalto modificado por polímero, nos ensaios em que não são esperadas deformações, alcançaram valores da ordem de  $10^{-6}$  cm/s tendo sido os melhores resultados obtidos.

Os asfaltos aquecidos, aplicados através da técnica de imersão, apresentaram os melhores resultados em termos de permissividade e

permeabilidade, quando comparados aos asfaltos manipulados em temperatura ambiente aplicados tanto por espalhamento como por imersão

De um modo geral, a técnica de imersão impregna mais o geotêxtil. Porém, o controle da espessura final e taxa de emulsão é mais facilitado através da técnica de espalhamento.

A técnica de espalhamento de emulsão asfáltica, em geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup> com deformação da amostra durante o ensaio, apresentou uma maior variação entre seus resultados de espessura final versus taxa de impregnação versus permeabilidade. Contudo, somente acima de uma taxa de 0,9l/m<sup>2</sup> e espessura final de 1,55mm é que os resultados de permeabilidade se tornam interessantes como barreira impermeabilizante. A partir destes valores foram alcançadas permeabilidades da ordem de 10<sup>-4</sup>cm/s.

Para a técnica de imersão, com emulsão asfáltica, emprego de geotêxteis de gramatura 120g/m<sup>2</sup> e deformação da amostra durante o ensaio, os resultados ficaram entorno de 10<sup>-4</sup> e 10<sup>-5</sup>cm/s. Os maiores valores foram obtidos para taxas a partir de 1,30l/m<sup>2</sup> e espessuras da ordem de 1,70mm.

## **7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Em continuidade aos estudos iniciados nesta pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudo do emprego de geotêxteis com gramaturas superiores a 120g/m<sup>2</sup> para a técnica de espalhamento;
- Estudo da impregnação adotando misturas na emulsão asfáltica, por exemplo bentonita;
- Estudo da resistência destas matérias impregnadas;
- Simulação numérica das possibilidades construtivas em aterros com uso de geotêxteis impregnados, com objetivo de reduzir o fluxo;
- Simulação em modelo reduzido daquela que se mostrar a melhor em termos técnicos e econômicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 10318**: Geossintéticos – Termos e definições. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9863**: Geossintéticos – Determinação da espessura a pressões específicas Parte 1: camada única. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9862**: Geossintéticos – Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 11058**: Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Catálogo de Normas Técnicas**  
 – **ABNT** **NBR** **ISO** **10319:2014**. Disponível em:  
 <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=259786>>. Acesso em:  
 30/04/2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Catálogo de Normas Técnicas**  
 – **ABNT** **NBR** **ISO** **15856:2010**. Disponível em:  
 <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=61393>>. Acesso em: 30/04/2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Catálogo de Normas Técnicas**  
 – **ABNT** **NBR** **ISO** **12958:2013**. Disponível em:  
 <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=255460>>. Acesso em:  
 26/04/2015.

ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos. **Curso Básico de Geotêxteis**. Janeiro, 2001.

ASPHALT INSTITUTE. **HMA Construction – Manual Series No. 22**. 2 ed. Asphalt Institue. Kentucky, 2000.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard Terminology for Geosynthetics, Active Standard **ASTM D4439**, 2014.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications, Active Standard **ASTM D6140**, 2014.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity, Active Standard **ASTM D4491**, 2014.

BERNUCCI, L. B. *et. al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2006, 504 p.

BIDIM. **Aplicação de Geotêxtil Bidim Impregnado com emulsão Asfáltica para Impermeabilização de Tanques da Açucareira Quatá S/A – São Paulo**. Departamento Técnico Mexichem Bidim Ltda. 2011.

BIDIM. **Utilização de Geotêxtil Bidim e Asfalto Oxidado para Impermeabilização de Reservatórios e canais de Adução em Sistemas de Irrigação, Ipanguaçu - RN**. Departamento Técnico Mexichem Bidim Ltda. 2011.

BUENO, S. B.; VALENTIN, C. A.; MOSSIM, V. **Um Panorama do Desempenho de Geossintéticos Comercializados no País sob a ótica de Ensaio de Laboratório**. Disponível em:

<[http://www5.eesc.usp.br/sqs/geossinteticos/ArtigosPDF/VSBG\\_TextoMateriais%20Bueno,%20Valentin%20&%20Mossim.pdf](http://www5.eesc.usp.br/sqs/geossinteticos/ArtigosPDF/VSBG_TextoMateriais%20Bueno,%20Valentin%20&%20Mossim.pdf)>. Acesso em: 15/04/2015.

COLETANCHE. Disponível em: <<http://www.coletanche.com>>. Acesso em: 02/04/2015.

COLMANETTI, J. P. **Estudos Sobre a Aplicação de Geomembranas na Impermeabilização da Face de Montante de Barragens de Enrocamento**. 272f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CORREIA, N. S. **Comportamento de Geotêxteis Não Tecidos Impregnados com Emulsão Asfáltica Usados como Sistema Anti-reflexão de Trincas**. 131f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CTG – Comitê Técnico de Geossintéticos. Disponível em: <<http://www.geossinteticos.org.br/aplicacoes.html>>. Acesso em: 16/04/2015.



FREEDONIA. **World Geosynthetics**. Disponível em: <http://www.freedoniagroup.com/industry-study/3108/world-geosynthetics.htm>.

Acesso em: 07/04/2015.

GRECA. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/>. Acesso em: 12/05/2015.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo. **Informações Básicas Sobre Materiais Asfálticos**. 4 ed. Rio de Janeiro, 1990.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo. **As Emulsões Asfálticas e Suas Aplicações Rodoviárias**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1990.

IGS - International Geosynthetics Society. **Geosynthetics Functions**. Disponível em: <http://www.geosyntheticssociety.org/Resources.aspx?pg=Education>. Acesso em: 13/04/2015.

IGS - International Geosynthetics Society. **Geosynthetics Applications**. Disponível em: <http://www.geosyntheticssociety.org/Resources.aspx?pg=Education>. Acesso em: 13/04/2015.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics**. Prentice Hall, 5 ed. New Jersey, 2005.

LOPES, M. P.; LOPES, M. L. **A Durabilidade dos Geossintéticos**. FEUP, 1 ed. Porto, 2010.

MACCAFERRI. **Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos** – Manual Técnico. Setembro, 2010.

NHI - National Highway Institute. **Geosynthetic Desing and Construction Guidelines** – Participant Notebook. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington – DC, 1988.

PINTO, C. de, S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos, 1 ed. São Paulo, 2000.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Pauto : Pini, 1997.

SILVA, A. M. da. **Abertura de Filtração de Geotêxteis Sob Confinamento**. 129f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, A. E. F. **Geossintéticos: Produtos de Grande Versatilidade que Possibilitam Solucionar Diversos Problemas de Engenharia**. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, São Paulo, Ano 4, N° 41, p. 78 – 81, Fevereiro, 2014.

SOUZA, de M. L. **Pavimentação Rodoviária**. LTC, 2 ed. Rio de Janeiro, 1980.

TEIXEIRA, S. H. C. **Materiais Geotécnicos em Construção – Aula 1: Introdução aos Geossintéticos (generalidades)**. Curitiba, 2013.

VEDACIT. **Neutrol**. Disponível em:  
<<http://www.vedacit.com.br/neu/produtos.php?64>>. Acesso em: 01/05/2015.

VERTEMATTI, J. C. *et al.* **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. Edgard Blucher, São Paulo, 2004.

VIDAL, D. M. **Geossintéticos, Conhecendo e Aplicando – Curso IGS Brasil Módulo Básico**. Curitiba, 2013.

VIDAL, D. M. **Manual Técnico – Geossintéticos Bidim – Geotêxtil: Propriedades e Ensaio**s. São Paulo, 2015.